

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra energetiky**

**Návrh monitoringu stability spalování pro  
výrobní bloky v Elektrárně Dětmarovice**

**Monitoring Design of Combusting Stability  
of Production Plants in Power Plant  
Dětmarovice**

**Student:** Bc. Jan Kolomazník  
**Vedoucí diplomové práce:** Dr. Ing. Bohumír Čech

**Ostrava 2011**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Kolomazník**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení  
Téma: **Návrh monitoringu stability spalování pro výrobní bloky v Elektrárně Dětmarovice**  
**Monitoring Design of Combusting Stability of Production Plants in Power Plant Dětmarovice**

### Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh úprav monitoringu stability spalování pro bloky 650 t/h páry v Elektrárně Dětmarovice. Diplomová práce bude obsahovat:

1. Popis stávajícího zařízení kotlů bloku 200 MW.
2. Popis stávajícího zařízení pro sledování plamene.
3. Návrh úprav zařízení pro automatické hlídání stability.
4. Navrhněte úpravu chlazení čidel pro monitoring stability s využitím nízkotlakého vzduchu.
5. Proved'te technické a ekonomické zhodnocení navrhovaných úprav.

### Grafické práce:

1. Výkresová dokumentace stávajících snímačů teploty.
2. Výkresovou dokumentaci úprav rozvodů vzduchu po kotelně.

### Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Černý V. a kol. Parní kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha 1975.
- [2] Kolat P. Přenos tepla a hmoty, skripta VŠB Ostrava 1987.
- [3] ON 074017 Tepelný výpočet parních kotlů.
- [4] Dlouhý T. Výpočty kotlů a spalínových výměníků, skripta ČVUT Praha 2005

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Dr. Ing. Bohumír Čech**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011

  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry




  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

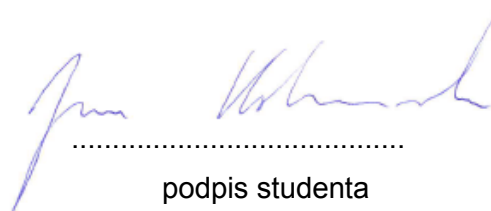
V Ostravě ...23.května 2011..

  
.....  
podpis studenta

## Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23. května 2011



.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jan Kolomazník

Adresa trvalého pobytu autora práce: Československých tankistů 87, Dolní Lhota  
74766

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Bc. Kolomazník, J. Tvorba návrhu úprav monitoringu spalování výrobních bloků 650 t/h páry v Elektrárně Dětmárovice. Ostrava: katedra energetiky, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 49 s. Diplomová práce, vedoucí Dr. Ing. Bohumír Čech.

Diplomová práce se zabývá úpravou automatického hlídání stability plamene v kotli 650 t/h bloku Elektrárny Dětmárovice. V úvodu je popis funkce technologie kotle a monitoringu spalování. Dále je řešena software změna algoritmů a logických vazeb v operačním systému pro automatické najetí plynových stabilizačních hořáků. Je navržen nový způsob chlazení snímačů stability spalování, kde je vypočtena spotřeba chladícího vzduchu a navržena nová trasa nízkotlakého vzduchu včetně dmychadel. V závěru je provedeno technické a ekonomické zhodnocení navrhovaných úprav a výpočet energetické náročnosti obou způsobů chlazení snímačů.

## **ANNOTATION OF THESIS**

Bc. Kolomazník, J. Proposal of Monitoring Design of Combusting Stability of Production Plants in Power Plant Dětmárovice. Ostrava: Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2011, 49 p. Thesis, head: Dr. Ing. Bohumír Čech.

The thesis concerns adjustment of the automatic flame stability monitoring in the boiler of 650 t/h at Dětmárovice Power Station block. The introduction contains a description of the boiler technology and monitoring of combustion. Thereinafter a software for algorithms and logical bindings changes in the automatic gas stabilization burners start up operating system has been addressed to. A new way of combustion stability sensors cooling is proposed here containing calculation of cooling air consumption and a new low air pressure route (including blowers) is designed. In the end of the thesis there are a technical and economical evaluation of modifications designed above and a calculation of energy intensity of both ways to cool the sensors.

## Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů:.....	7
1 Úvod.....	8
2 Popis stávajícího zařízení kotlů bloku 200MW.....	9
2.1 Základní údaje o kotli PG 650t/hod: .....	10
2.2 Systém ovládání zařízení .....	10
3 Popis stávajícího zařízení pro sledování plamene .....	11
3.1 Technický popis zařízení.....	11
3.2 Snímače spalování.....	12
3.3 Funkce systému monitoringu stability spalování.....	12
4 Návrh úpravy řízení pro automatické hlídání stability .....	17
5 Návrh úpravy chlazení snímačů monitoringu stability s využitím nízkotlakého vzduchu .....	20
5.1 Návrh úpravy chlazení optických čidel monitoringu stability spalování. ....	21
5.2 Výpočet spotřeby množství stlačeného vzduchu stávajícího systému ....	21
5.3 Volba stroje .....	23
5.4 Výpočet chlazení a úprava pouzdra snímače .....	25
5.5 Návrh rozvodné sítě .....	27
6 Technické a ekonomické zhodnocení navrhovaných úprav .....	42
6.1 Úprava automatického hlídání stability .....	42
6.2 Úprava chlazení snímačů plamene .....	42
6.3 Výpočet měrné spotřeby v CKS .....	43
6.4 Výpočet měrné spotřeby dmychadel .....	45
6.5 Celkové porovnání nákladů různého provozování .....	45
7 Závěr.....	47
7.1 Úprava zařízení automatického hlídání stability plamene.....	47
7.2 Úprava chlazení snímačů monitoringu spalování .....	47
8 Seznam použité literatury .....	48
9 Seznam příloh .....	48

## Seznam použitých zkratk a symbolů:

AO	autonomní ochrana funkčního celku
EA	elektro-armatura
CKS	centrální kompresorová stanice
ML	mlecí linka
OM	vizualizace řídicího systému TXP
PH	práškový hořák
PSH	plynový najížděcí a stabilizační hořák
PSU	podavač surového uhlí
RA	ruční armatura
ŘS	řídicí systém
SI	směnový inženýr
SK	spalovací komora kotle
TG	turbogenerátor
TXP	řídicí systém Teleperm XP
VB	výrobní blok
VDB	vedoucí dvojbloku
ZK	zpětná klapa
ZSB	zabezpečovací systém bloku

P	příkon elektrický	[kW]
Q	teplo	[GJ/h]
$Q_k$	teplo obsažené v kondenzátu	[GJ/h]
$Q_p$	teplo obsažené v páře	[GJ/h]
c	měrná tepelná kapacita vody	[kJ/kg×K]
i	entalpie	[kJ/kg]
$m'$	hmotnostní průtok	[t/h]
p	tlak	[kPa]
$\Delta t$	rozdíl teplot	[°C]
t	teplota	[°C]

# 1 Úvod

Stabilita spalování u práškových kotlů je významným faktorem, který ovlivňuje bezpečnost provozu těchto kotlů a významným způsobem ovlivňuje kvalitu spalování a následně účinnost kotle i tvorbu emisí. Tato záležitost je dosud velmi podceňována a můžeme konstatovat, že každý z větších kotlů v české energetice prošel fází nekontrolovaného zvýšení tlaku s následnými většími nebo menšími škodami a lze vysledovat i úrazy, případně těžká zranění s nejhorsími následky. V drtivé většině se jedná o selhání lidského faktoru nevhodným zásahem do spalovacího procesu. Největší kotle v české energetice jsou již většinou vybaveny tímto zařízením od výrobců daného zařízení. Na celé řadě teplárenských granulacích kotlů však toto zařízení dosud schází.

Cílem této práce je zhodnocení stávajícího zařízení pro sledování plamene kotlů výrobních bloků 200MW v Elektrárně Dětmarovice. Navržení úpravy pro automatické hlídání stability pomocí automatického najetí plynových stabilizačních hořáků.

Pro úsporu celkových nákladů na vyrobený tlakový vzduch v kompresorové stanici je navržena nová dmychadlová stanice a rozvod vzduchu pro chlazení snímačů monitoringu plamene. Novým vzduchovým chlazením docílíme úspory vlastní spotřeby elektrické energie. V textu této práce jsou vypočteny náklady pro původní chlazení a náklady pro nové chlazení.

Na základě dosažených výsledků jsou technicky a ekonomicky zhodnoceny oba způsoby chlazení.



## 2 Popis stávajícího zařízení kotlů bloku 200MW

Pro kapitolu 2 byla použita literatura [1]

Elektrárna Dětmarovice má čtyři shodné výrobní bloky o výkonu 200MW. V budově kotelny o délce 192 m, šířce 44 m a výšce 63 m jsou umístěny čtyři kotle. Kotel jako celek je zavěšen na nosné ocelové konstrukci a dilatuje směrem dolů. Kotel spolu s turbogenerátorem tvoří jeden výrobní blok.

Kotel je průtlačný, dvoutahový s granulační spalovací komorou. Kotel zaručuje provoz v regulačním rozsahu 60-100 % jmenovitého výkonu. Regenerační ohříváky vzduchu typu Ljungström jsou v zadní části kotle na samostatné konstrukci. Spalovací komora má rozměry 12 x 11 m. V horní části je zúžena nosem vytvořeným z trubek vstupní části přehříváku. Kotel je izolován minerální plstí a plechován. Dilatuje přes závěsy směrem dolů. Práškové hořáky jsou umístěny v rozích od 13,6 m do 21,5 m. Osy hořáků směřují tangencionálně k myšlené kružnici ve středu výparníku. Obvodové stěny výparníku jsou celosvařované - membránové. Vysokotlaký trakt je oddělen uzavíracím šoupětem na odpařovací a přehřívací.

Ohřívák vody (ekonomizér, EKO) je jednosvazkový, dvouvětвовý a je umístěn na konci druhého tahu před ohříváky vzduchu. Za výparníkem jsou umístěny separátory, které jsou napojeny na vodní straně na najížděcí nádoby. Parní část je spojena s parní stranou najížděcích nádob a přes vstupní dělící armatury s přehřívákem I.

Přehříváky jsou na kotli tři. Přehřívák č. 1 pokrývá stěny šotového prostoru spalovací komory, spojovacího a zadního tahu a dále zahrnuje závěsné trubky zadní stěny a zadního tahu. Přehřívák č. 2 je dvouvětвовý a je proveden jako šoty pod stropem v zúženém prostoru spalovací komory. Přehřívák č. 3 je výstupní a je umístěn za šoty ve spojovacím mezitahu.

Přehřívák je opět dvouvětвовý, dvoustupňový s několikerým křížením větví. První stupeň je protiproudý, vodorovný, třísavkový, umístěný v zadním tahu na závěsných trubkách. Druhý stupeň je souproudý, svislý, zavěšený pod stropem za výstupním přehřívákem ve spojovacím mezitahu.

Jištění VT části je provedeno třemi pojišťovacími impulsními ventily za výparníkem a dvěma pojišťovacími impulsními ventily na výstupních parovodech. Jištění přehřívákové části je provedeno dvěma impulsními pojišťovacími ventily na výstupu mezipáry.

Mlecí zařízení je složeno ze čtyř mlecích okruhů s kroužkovými mlýny o výkonu 9,15 kg/sec., mlýnských ventilátorů a ventilátorů na těsnící vzduch. Kotel má 4 hořákové skříně, do nichž je veden z každého mlýnu uhelný prášek. Pro jmenovitý výkon 650 t/hod stačí 3 mlýny, kdy jeden slouží jako záloha. Pro zapálení, stabilizaci a

najíždění jsou v každém rohu tři plynové hořáky, každý vždy mezi dvěma práškovými hořáky. Pro snížení emisí jsou nainstalovány nízkoemisní hořáky spolu s tryskami OFA pro přívod dohořivacího vzduchu, které zajišťují spalování ve spalovací komoře se sníženou tvorbou NO<sub>x</sub>. Trysky mají možnost naklápění ve svislé rovině - podle provozovaných mlecích linek.

Spalovací vzduch je nasáván dvěma vzduchovými ventilátory buď z venku, nebo z vnitřku kotelny přes POV a rotační regenerační ohřívák (Ljungström) je dopravován do hořáků a do mlýnů. Spaliny vystupující z kotle prochází přes elektrostatické odlučovače do sání dvou kouřových ventilátorů, které spaliny dále ženou do odsiřovací jednotky.

Odstruskování spalovací komory je provedeno pěti mechanickými odstruskovači typu MARTIN na pásy do zásobníků strusky.

## **2.1 Základní údaje o kotli PG 650t/hod:**

- |  |                      |
|--|----------------------|
| • Výkon kotle  | 650 t/hod            |
| • Tlak VT páry   | 16,5 MPa             |
| • Teplota VT páry  | 540 °C               |
| • Jmenovitá teplota napájecí vody  | 250 °C               |
| • Množství mezipáry  | 550 t/hod            |
| • Tlak mezipřihřáté páry   | 3,72 MPa             |
| • Teplota mezipřihřáté páry  | 540 °C               |
| • Teplota vstřikovací vody   | 165 °C               |
| • Účinnost kotle při 650 t/hod   | 90,4 %               |
| • Spalované palivo: Směs černého ostravského hrubopráchu a granulovaných kalů. |                      |
| • Výhřevnost paliva (nejširší pásmo)   | 21,77 - 25,12 MJ/ kg |

## **2.2 Systém ovládání zařízení**

Pro řízení, ovládání a regulace je použit řídicí systém TELEPERM XP firmy SIEMENS. Tento řídicí systém je použit pro ovládání čtyř výrobních bloků (strojovny, kotelny), vlastní spotřeby elektrárny, odsiřování, čerpací stanici chladicí vody a blokovou úpravnu kondenzátu.

Moderní ŘS německé firmy Siemens AG TELEPERM XP je digitální systém řízení technologických procesů, který realizuje následující základní funkce:

- sběr signálů z elektrárenské technologie
- řízení, ovládání a sledování procesu elektrárenské technologie
- obslužné a monitorovací rozhraní mezi technologií a operátorem

- identifikace, hlášení a archivování poruch
- pořizování a archivování údajů o provozních stavech

### 3 Popis stávajícího zařízení pro sledování plamene

Pro kapitolu 3 byla použita literatura [2]

Systém monitoringu stability spalování uhlénoho prášku ve spalovací komoře byl instalován z důvodu zajištění bezpečného provozování kotle PG 650 t/h na nízkých výkonech bez stabilizace. Při ztrátě stability hoření systém blokuje start plynových stabilizačních hořáků(PSH) a následně odstavuje spalování, při zhasnutí plamene systém ihned odstavuje spalování. Monitoring stability spalování byl zpracován na základě dokumentace výrobce - Alstom Power, dále pak podle úprav v logice řídicího systému TXP. Tento systém zahrnuje jednotlivé části zařízení, popis způsobu obsluhy a údržby včetně kontrol jak ze strany pracovníků provozu, tak ze strany pracovníků údržby.

#### Základní pojmy:

- Monitorovací systém stability spalování uhlénoho prášku - souhrn Monitorovacího systému stability spalování Alstom a logiky algoritmů TXP.
- Nestabilita spalování - procentuálně vyjádřena nestabilita hoření ve SK. 100 % nestabilita znamená úplné zhasnutí v kotli, 0 % nestabilita znamená teoretické ideální spalování. Tento způsob 100% až 0% sice postrádá logiku, ale v EDĚ je to zavedeno a operátoři kotle si na toto zvykli.

#### 3.1 Technický popis zařízení

Monitorovací systém stability spalování ALSTOM Power, s.r.o. (dále systém) je zařízení určené k trvalému sledování stability spalování v průmyslových a energetických spalovacích zařízeních na tuhá paliva s možností stabilizace spalování plynými nebo kapalnými palivy. Je třeba říct, že tento systém je nutno každému kotli aplikovat samostatně s ohledem na zvláštnosti a odlišnosti technologie jednotlivých systémů. Systém je určen pro sledování plamene pouze tuhých paliv, čehož se dosahuje vhodným umístěním čidel - radiometrů. Systém je určen pro sledování plamene pouze tuhých paliv, čehož se dosahuje vhodným umístěním čidel - radiometrů.

Systém není použit jako hlídač hořáků na plyná paliva.

## 3.2 Snímače spalování

Umístění zařízení: V sestavě systému jsou použity čtyři snímače umístěné v průzorech ve stěnách spalovací komory. Snímače jsou umístěny na kótě +25 m, v každé stěně jeden. Vlastní snímač je umístěn v pouzdru, které jej mechanicky chrání, zajišťuje jeho polohu a chlazení tlakovým vzduchem.

Průhled do spalovací komory: Pro funkčnost snímačů je nezbytný volný průhled do spalovací komory. Pokud některý snímač ukazuje hodnotu 100% nestability a jiné snímače hodnotu menší, je třeba vyčistit průzor do spalovací komory.

Konstrukce snímače a jeho uchycení: Snímač je uložen v tubusu, který je fixován pomocí převlečné matice k držáku tubusu. Držák tubusu je na stěnu kotle přišroubován ke dvěma třmenům, jenž jsou přivařeny na membránovou stěnu spalovací komory kotle.

Chlazení snímače: Provoz snímačů vyžaduje trvalý přísun chladicího vzduchu. Vzduch je připojen ke každému snímači přes kulový kohout pomocí tlakové hadice z rozvodu tlakového vzduchu o přetlaku 600 kPa dodávaného z CKS. Výpadek vzduchu způsobí trvalé poškození snímačů. Dodávka stlačeného vzduchu je z tohoto důvodu zálohována.

Elektrické připojení: Snímače jsou připojeny konektorem do připojovací krabíčky. Odtud je vedena pevná kabeláž stíněnými vodiči v trubkách ke sdružovací skříňce a dále k vyhodnocovací jednotce. Vyhodnocovací jednotka a rozšiřovací modul jsou připojeny na řídicí systém kotle (dále TXP).

## 3.3 Funkce systému monitoringu stability spalování

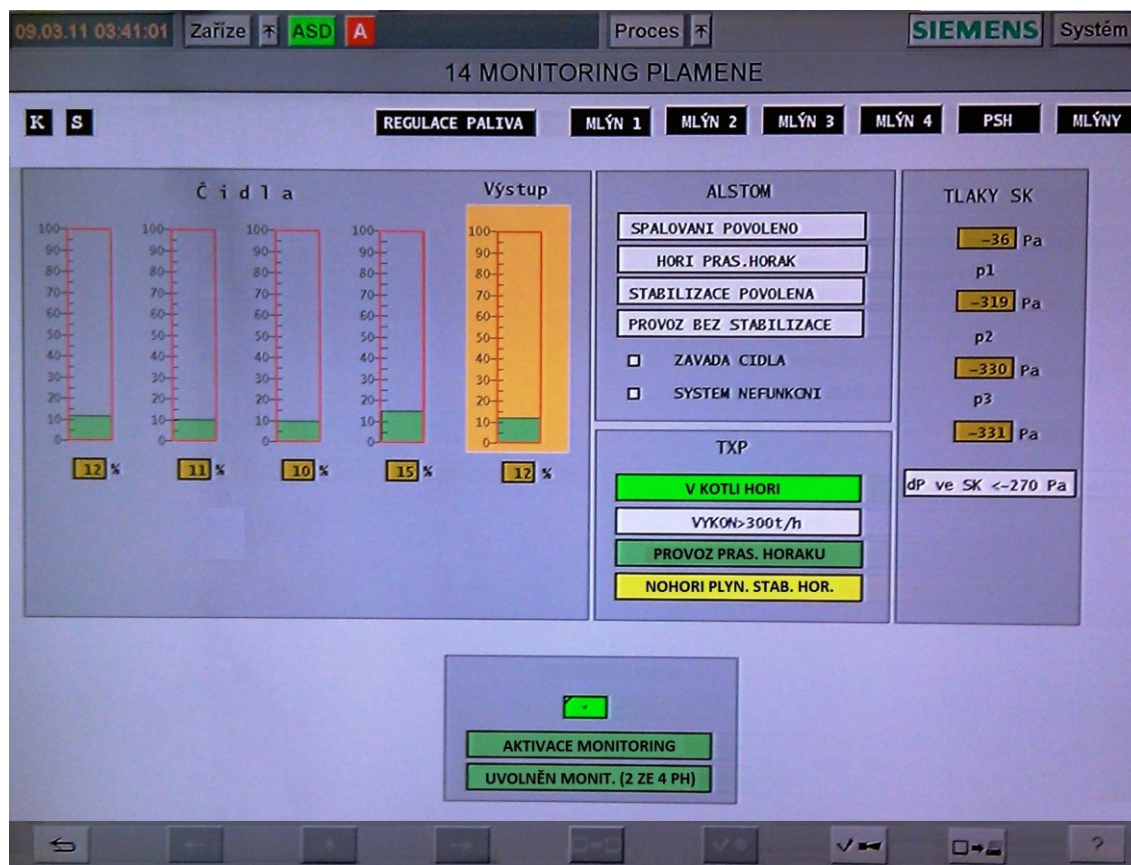
### **Systém má dvě hlavní funkce:**

**Hlídací:** Poskytování údajů o přítomnosti plamene z práškových hořáků (tuhého paliva) v kotli. Při přítomnosti plamene povolit najíždění stabilizačních hořáků bez provětrávání spalovací komory, při ztrátě plamene zabránit najetí stabilizačních hořáků bez provětrání topeniště.

**Monitorovací:** Stanovit hodnotu nestability spalování, zobrazit a předat nadřazenému řídicímu systému. Při zvýšení nestability a překročení nastavených mezí nestability (mez 2, 3, 4) nastavit příslušné binární výstupy. Signál o přítomnosti plamene má přímou vazbu na najíždění stabilizačních hořáků. Stabilizační hořáky je

možno startovat (s výjimkou najíždění kotle) pouze, když je signál o přítomnosti plamene aktivní. Při stabilitě spalování zhoršené, ale ještě přípustné, je možno PSH startovat do spalovací komory bez provětrávací procedury. Pokud dojde k uhasnutí plamene tuhého paliva nebo překročení přípustné meze stability pro start PSH, stabilizační hořáky již nesmí být možno zapálit, aby nemohlo dojít ke vznícení možného nahromaděného nespáleného tuhého paliva v komoře. Tento algoritmus zajišťuje řídicí systém kotle na základě informací monitorovacího systému.

Systém Alstom zpracovává signály ze čtyř snímačů. Tyto analogové a binární signály jdou pak do logiky TXP. Veškeré zásahy systému Monitoringu do řízení provozu kotle (blokace stabilizace, odstavení spalování) jsou podmíněny aktivací systému v TXP, na stránce vizualizace "MONITORING PLAMENE", zeleným tlačítkem, viz obrázek č. 3-1



OBRÁZEK 3-1

### Analogové výstupy systému:

- hodnota nestability snímač č. 1 (levá boční stěna SK kotle)
- hodnota nestability snímač č. 2 (zadní stěna SK kotle)
- hodnota nestability snímač č. 3 (pravá boční stěna SK kotle)
- hodnota nestability snímač č. 4 (přední stěna SK kotle)
- hodnota průměrné nestability počítaná z radiometrů 1 až 4

### **Binární výstupy systému:**

- „Start stabilizace“ (hodnota průměrné nestability překročila MEZ 2, nepřekročila MEZ 3)
- „Stabilizace povolena“ (hodnota průměrné nestability nepřekročila MEZ 3)
- „Spalování povoleno“ (hodnota průměrné nestability nepřekročila MEZ 4)
- „Plamen“ (alespoň jedno čidlo musí indikovat přítomnost plamene uhelného prášku ve SK)
- „Varování“ (nastala porucha čidla nebo vedení-měřících smyček)
- „Autotest“ (nastala porucha systému Alstom - systém Alstom není funkční)

### **Nastavení mezí:**

MEZ 2 : Hodnota průměrné nestability 20 %

MEZ 3 : Hodnota průměrné nestability 60 %

MEZ 4: Hodnota průměrné nestability 70 %

Je-li hodnota nestability na jednotlivých radiometrech větší než 80 %, je na to operátor upozorněn poruchovým hlášením „W“.

### **Aktivace systému monitoringu spalování:**

Systém Monitoringu stability spalování je aktivní, pokud jsou současně splněny následující podmínky:

- 1) je operátorem zamáčkнутé tlačítko „Aktivace“
- 2) od zapálení kotle došlo k prvnímu vytvoření signálu „Provoz práškových hořáků-provoz 2 ze 4 ML“ (*popis signálu viz. níže*)
- 3) není vyhodnocen signál z Alstom „Autotest“ (v TXP vytvořen signál „Systém nefunkční“)

Průběh událostí v systému monitoringu stability spalování v průběhu najíždění kotle je pak následující:

- 1) operátor před zapálením zapne tlačítko aktivace systému (zapnutí a vypnutí tohoto tlačítka lze provést kdykoli v průběhu najíždění i provozu kotle - operátor může Systém kdykoli vypnout a zapnout)
- 2) postupně se najíždí PSH a ML
- 3) při splnění podmínky „Provoz práškových hořáků-provoz 2 ze 4 ML“ se nahodí paměť splnění druhé podmínky aktivace systému (trvá až do odstavení spalování - ztráty signálu „Vyhodnocení plamene v kotli“ - na OM zobrazeno „Ztráta plamene“)

- 4) po dobu splnění podmínek 1) až 3) z předchozího odstavce je systém aktivní, monitoruje stabilitu spalování uhlénoho prášku
- 5) vyřazení systému z funkce proběhne buď:
  - a) operátor jej vyřadí ručně vypnutím tlačítka aktivace, nebo
  - b) automaticky signálem „Systém nefunkční“, nebo
  - c) se systém vyřadí automaticky po ztrátě signálu „Vyhodnocení plamene v kotli“ (pak zase čeká na splnění podmínky prvního splnění „Provoz práškových hořáků-provoz 2 ze 4 ML“ při zapnuté ruční aktivaci)

### **Stabilizace spalování:**

Povolení stabilizace spalování, tzn. start PSH, je možné, pokud je systémem Alstom vyslán do ŘS bloku (TXP) binární signál „Stabilizace povolena“. V TXP je vyhodnocen a ve schématu Monitoringu zobrazen signál  $\Rightarrow$  „Stabilizace povolena“.

### **Výzva ke stabilizaci:**

Ke stabilizaci spalování je systémem TXP operátor kotle vyzván:

- 1) pokud parní výkon kotle klesnul pod  $300 \text{ t.h}^{-1}$ , v TXP je pak vyhodnocen a ve schématu Monitoringu zobrazen signál „Stabilizovat-výkon<300t/h“, nebo
- 2) pokud je systémem Alstom vyslán do ŘS bloku (TXP) binární signál:
  - a) „Start stabilizace“ (je překročena hodnota nestability meze 2), a současně
  - b) nehoří žádná skupina PSH.

V TXP je pak vyhodnocen a ve schématu Monitoringu zobrazen signál „Stabilizovat-monitoring“. Hoří-li při vzniku signálu ze systému Alstom „Start stabilizace“ již některá skupina PSH, pak se pokyn pro start stabilizace ve schématu Monitoringu nezobrazí (již je stabilizováno).

### **Blokování stabilizace:**

Blokování stabilizace znamená, že start PSH není možný. Tento stav nastane, pokud není systémem Alstom vyslán do ŘS bloku (TXP) binární signál „Stabilizace povolena“. V TXP je pak vyhodnocen a ve schématu Monitoringu zobrazen signál „Blokace stabilizace“. Logikou systému Monitoringu spalování je za podmínky, že

nehoří žádná skupina PSH, vyhodnocen signál „AO stop PSH“ a je blokován start všech PSH. Při zapůsobení signálu „Blokace stabilizace“ a jeho odeznění je nutno odkvitovat (potvrdit) autonomní ochrany PSH.

### **Povolení a odstavení spalování:**

#### **Povolení spalování:**

Spalování, tzn. provozování ML a PSH, je logikou v TXP povoleno, pokud je vyhodnocen signál „Vyhodnocení plamene v kotli“. Při ztrátě tohoto signálu nastává vyhodnocení signálu „Provětrávání“ spalovací komory. Tento signál působí v ZSB na odstavení PSH+ML a po 6 sekundách TG.

Signál „**Vyhodnocení plamene v kotli**“ je tvořen:

- 1) je vyhodnocen signál „Provoz práškových hořáků-provoz 2 ze 4 ML“, a současně (je-li Systém Monitoringu stability spalování aktivní)
- 2) jsou systémem Alstom vysílány do ŘS bloku (TXP) binární signály:
  - a) signál „Spalování povoleno“ (ve schématu Monitoringu je zobrazen signál „Spalování povoleno“),
  - a současně
  - b) signál „Plamen“ (ve schématu Monitoringu je zobrazen signál „Hoří PH“),nebo nezávisle na bodech 1) a 2)
- 3) hoří-li alespoň jedna skupina PSH.

Signál „**Provoz práškových hořáků-provoz 2 ze 4 ML**“ je tvořen:

#### **A. není-li Systém Monitoringu stability spalování aktivní:**

- 1) u 2 ML ze 4 musí být SOUČASNĚ splněny podmínky:
  - a) pohon mlýna je zapnutý,
  - b) pohon PSU je zapnutý (stav ZAP lze ztratit na max. 50 sekund),
  - c) palivo na PSU je >MIN (stav >MIN lze ztratit na max. 110 sekund),
- 2) při nedodržení kterékoli z předchozích podmínek a) až c) je ztráta signálu „Provoz práškových hořáků-provoz 2 ze 4 ML“ okamžitá,

#### **B. je-li Systém Monitoringu stability spalování aktivní:**

- 1) u 2 ML ze 4 musí být SOUČASNĚ splněny podmínky:
  - a) pohon mlýna je zapnutý,
  - b) pohon PSU je zapnutý (stav ZAP lze ztratit na max. 50 sekund),
  - c) palivo na PSU je >MIN (stav >MIN lze ztratit na max. 110 sekund),



- 2) při nedodržení kterékoli z předchozích podmínek a) až c) je ztráta signálu „Provoz práškových hořáků-provoz 2 ze 4 ML“ zpožděna o 60 sekund (Stabilita spalování je monitorována aktivním systémem Monitoringu).

#### **Odstavení spalování:**

Dojde-li ke ztrátě signálu „Vyhodnocení plamene v kotli“, pak nastává „Provětrávání“ spalovací komory a v ZSB dochází k odstavení PSH+ML a po 6 sekundách TG.

Nehoří-li alespoň jedna skupina PSH, pak ztráta signálu „Vyhodnocení plamene v kotli“ bude způsobena:

#### **A. je-li Systém Monitoringu stability spalování aktivní:**

BUĎ je v TXP vyhodnocen

- 1) signál „hodnota tlakové difference ve SK je nižší než 290 kPa“ ( $dp < 290 \text{ Pa}$ ) ,  
a SOUČASNĚ  
došlo ke ztrátě jednoho ze signálů ze systému Alstöm:
- 2) signál „Spalování povoleno“ (v TXP vytvořen signál „Odstavení spalování-monitoring“)  
nebo
- 3) signál „Plamen“ (v TXP vytvořen signál „Nehoří žádný PH“),

NEBO

dojde ke ztrátě signálu „Provoz práškových hořáků-provoz 2 ze 4 ML“ (popis signálu viz. výše),

#### **B. není-li Systém Monitoringu stability spalování aktivní:**

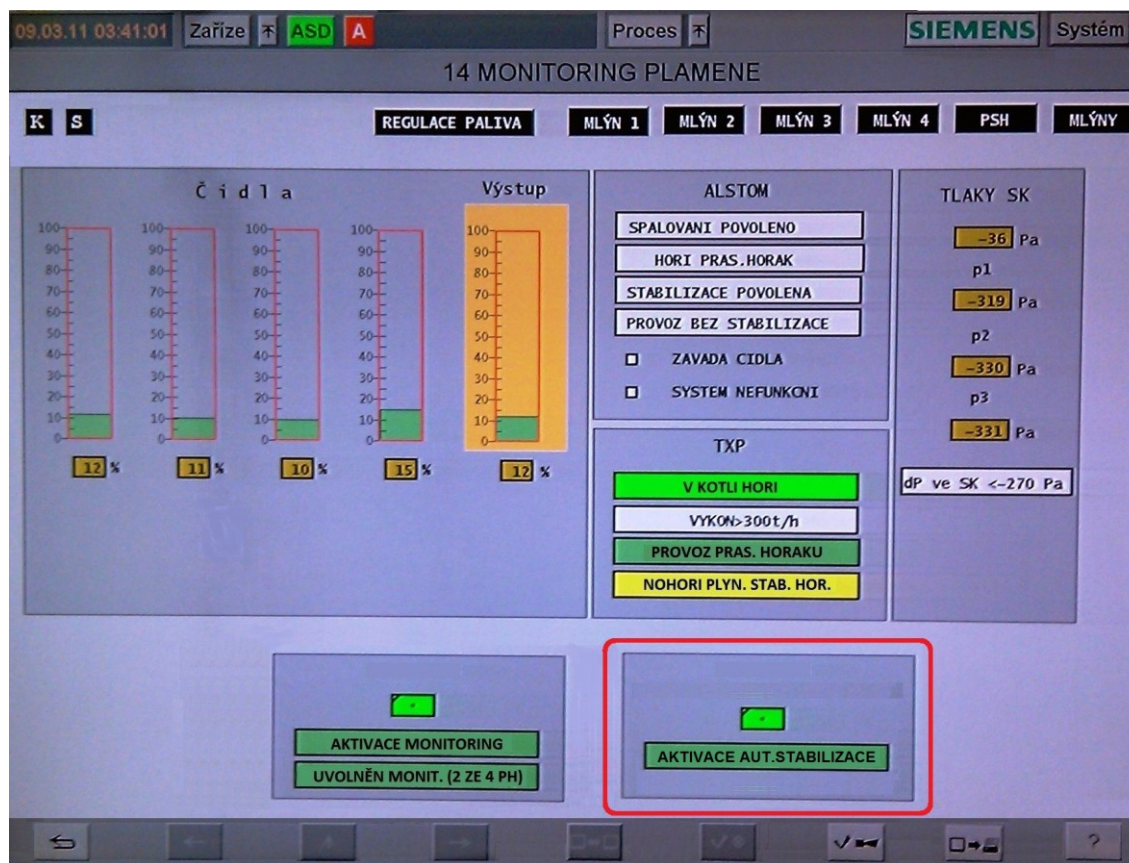
Dojde ke ztrátě signálu „Provoz práškových hořáků-provoz 2 ze 4 ML“ (popis signálu viz. výše).

## **4 Návrh úpravy řízení pro automatické hlídání stability**

Návrh úpravy pro sledování stability hoření přispěje svou funkcí ke zvýšení bezpečnosti provozování kotle. Spočívá v automatickém najetí jedné skupiny PSH. Jednou skupinou PSH se rozumí automatické spuštění dvou protilehlých plynových hořáků ve spalovací komoře na 50%. Výkon jedné skupiny PSH (dvojice hořáků) se dá regulovat zadáním hodnoty v TXP, v rozmezí 0 - 100%. Přičemž zadané hodnotě 0% odpovídá 50% výkon hořáku a 100% zadané hodnotě odpovídá 100% výkon hořáku(14,5 MW).

Pro automatické najetí by byla vytvořena v systému Alstom nová mez "MEZ 2a", jenž by byla iniciována od hodnoty průměrné nestability 40 %, tedy uprostřed původních signálů MEZ 2 a MEZ 3. Je otázkou, zda bude ze čtyř čidel vyhodnocována

průměrná hodnota, případně zda bude vybrán výběr maxima ze dvou čidel. Dále by bylo v ovládacím systému TXP na stránku vizualizace "MONITORING PLAMENE" přidáno nové tlačítko "AKTIVACE AUT. STABILIZACE", viz obrázek č. 4-1



OBRÁZEK 4-1

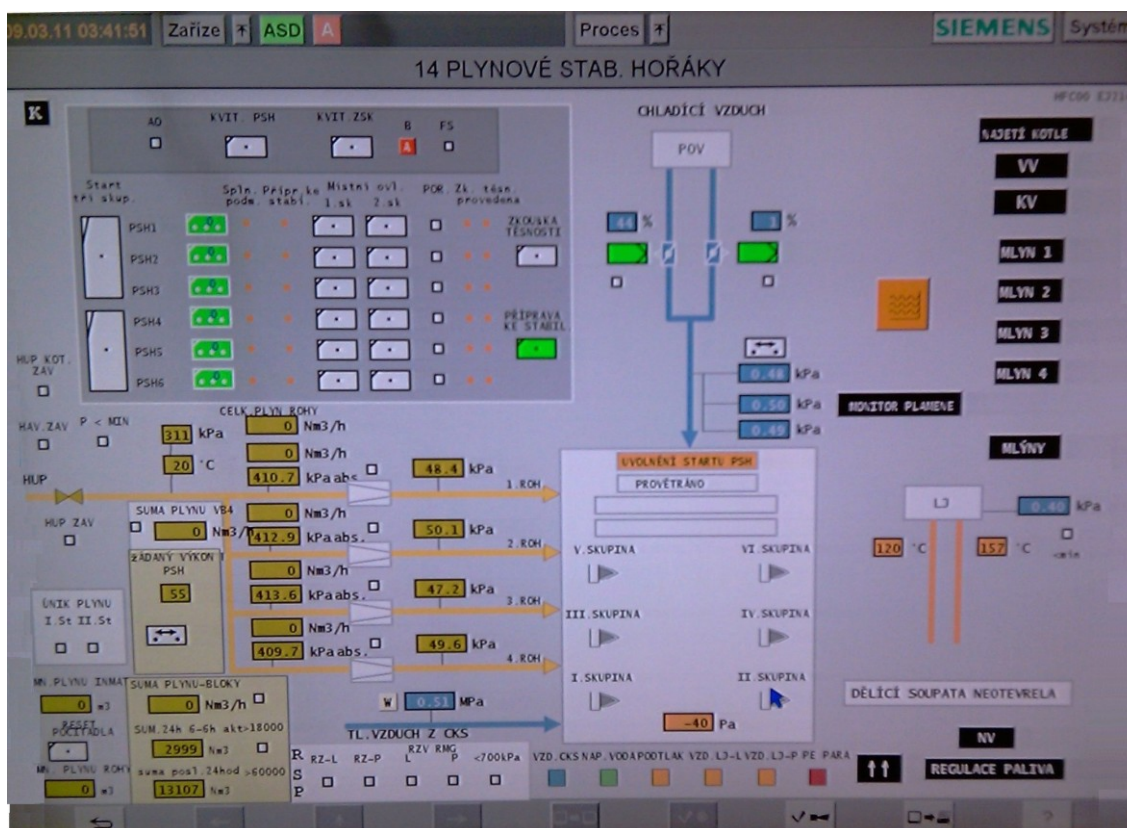
Úroveň hladiny nové meze "MEZ 2a" 40% pro automatické najetí jedné skupiny PSH by měla být navržena tak, aby se při běžných krátkodobých výpadech paliva na provozovaných mlecích linkách zbytečně a často nenajížděla skupina PSH. To znamená, že systém by bylo nutno provozovat delší dobu a vyhodnocovat různé provozní stavy, podle kterých by byla úroveň 40% stability nastavena. Je otázkou, zda by nebylo vhodné aktivovat hlídání množství paliva na jednotlivých provozovaných PSU se zavedením signálu do řídicího systému kotle s cílem předvídat možný poruchový stav, dříve než vznikne. Rovněž je třeba brát v úvahu nastavený počáteční výkon najížděné skupiny PSH. Operátorovi by nadále zůstala možnost ručního nastavení výkonu 0-100%. Nastavení výkonu na zadavači vpravo dole na přehledovém schéma TXP kotle, viz obrázek č.4.

#### **Nastavení prioritní automatické skupiny PSH**

Od nové úrovně MEZ 2a by se automaticky spustila skupina PSH č.1, jejíž hořáky jsou umístěny na nejnižší výškové úrovni ve spalovací komoře. Hořáky PSH č.1

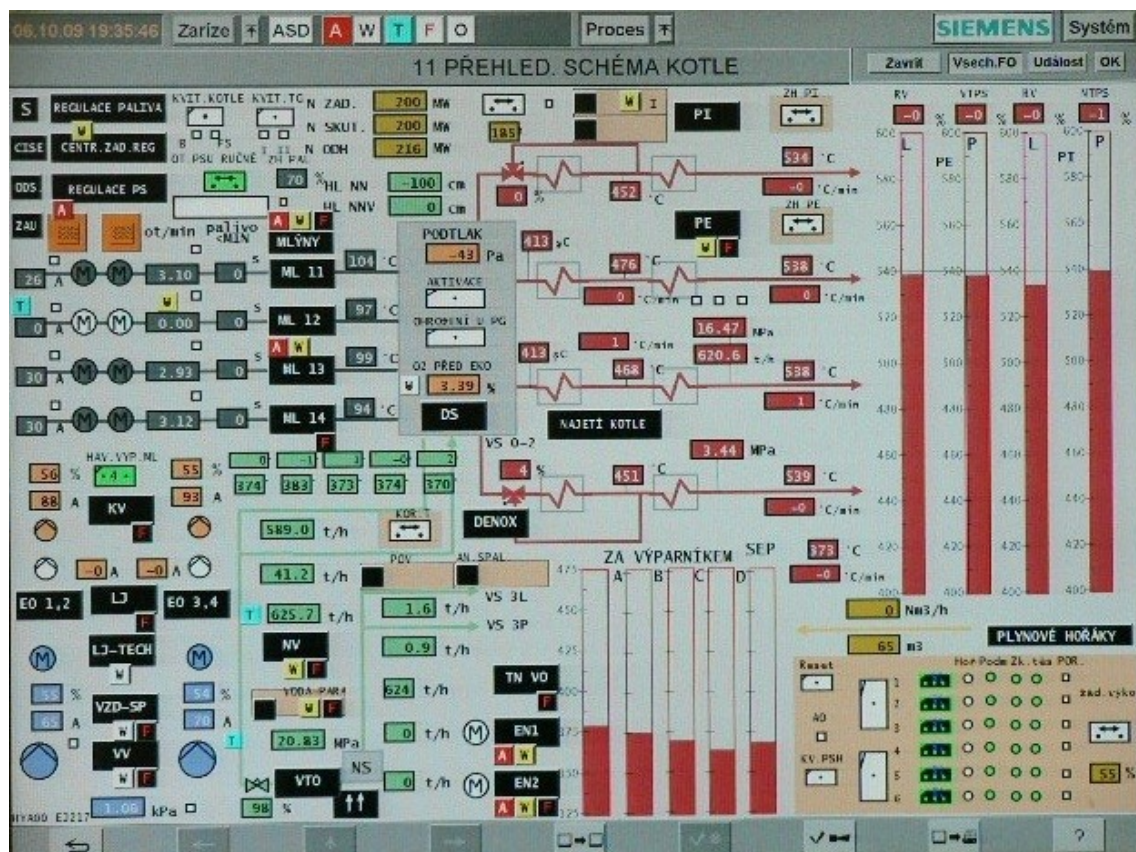
jsou umístěny naproti sobě na rohu 1 a rohu 4 spalovací komory. Pokud by tato skupina byla v poruše, tedy nebyly by splněny podmínky pro najetí, najížděla by skupina PSH č.2., která má rovněž umístěny hořáky na nejnižší výškové úrovni na rozích 2 a 3. Praxí se ukázalo výhodnější, používat plynové hořáky na nižší výškové úrovni, protože plynový hořák předává teplo, na rozdíl od práškového hořáku, až výše ve spalovací komoře.

Ovládání šesti skupin PSH a signalizace splněných podmínek pro najetí je patrné z levé horní části stránky PLYNOVÉ STAB. HOŘÁKY", viz. obrázek č. 4-2 nebo ze stránky vizualizace TXP "PŘEHLED.SCHÉMA KOTLE", viz. obrázek č. 4-3



OBRÁZEK 4-2





OBRÁZEK 4-3

## 5 Návrh úpravy chlazení snímačů monitoringu stability s využitím nízkotlakého vzduchu

Pro kapitolu 5 byla použita literatura [3]

Tlakový vzduch na kotelně je zajištěn z centrální kompresorové stanice (CKS), která dodává dostatečné množství stlačeného vzduchu o tlaku  $p=0,6$  MPa pro veškeré potřeby kotelny. Dodávaný vzduch je upraven na rosný bod cca.  $-20$  °C, což zajišťuje suchost tohoto vzduchu v celém teplotním pracovním rozsahu.

Použití tlakového vzduchu na kotelně:

- použití při údržbě zařízení kotelny
- při opravách pro pneumatické pohony náradí, atd.
- pro čištění částí zařízení (filtry ...)
- chlazení kamer Dimac
- chlazení čidel Monitoringu stability spalování
- chlazení snímačů plamene plynových hořáků
- vzduch pro vzduchová děla na ZSU a PSU
- vzduch pro zvedání horních těsnících lišt LJ

- vzduch pro zapalovací hořáky PSH jako vzduch spalovací

Vzduch pro chlazení snímačů stability spalování je odebírán ze zmíněného rozvodu tlakového vzduchu z CKS. Vzhledem ke tlakovým ztrátám a zmíněným odběrům je průměrný tlak vzduchu před snímači 500 kPa. Teplotu pro výpočet uvažujeme 20°C.

## 5.1 Návrh úpravy chlazení optických čidel monitoringu stability spalování.

Stávající chlazení optických čidel z rozvodu stlačeného vzduchu je řešeno vzduchem z kompresorové stanice o jmenovitých tlakových parametrech 0,6 MPa. Je pochopitelné, že při návrzích monitoringu stability spalování a hlídačů plamene se výrobce nestará o ekonomii provozu tohoto systému chlazení. Spotřeba vzduchu je relativně malá a náklady na výrobu tohoto stlačeného vzduchu zaplatí spotřebitel v konečné ceně elektrické energie v podstatě zanedbatelnou částkou. Je však technicky nepřijatelné komprimovat vzduch na 0,6 MPa, odstranit vlhkost a následně bezúčelně vyexpandovat tento vzduch do spalovací komory kotle. U teplárenských zdrojů nižších výkonů dodává standardně výrobce kotle ventilátory chladicího vzduchu s příkonem cca 0,7 až 1,2 kW, které pro daný účel bohatě dostačují a v podstatě bezobslužně plní svůj účel po dlouhou dobu. Náklady na provoz a údržbu kompresorů jsou nesrovnatelně vyšší a složitější, nehledě na ztráty v rozvodech a častou provozní nekázeň.

Z těchto důvodů je navrhována změna způsobu chlazení optických čidel monitoringu stability spalování, případně i dalších optických čidel, pokud by to jejich konstrukce umožnila.

## 5.2 Výpočet spotřeby množství stlačeného vzduchu stávajícího systému

Z výkresu pouzdra pro uchycení snímače je patrné, že vytékající chladicí vzduch protéká přes šest otvorů, každý o průměru 4mm. Tlakové ztráty před snímačem počítáme jako zanedbatelné, protože všechny průřezy jsou dostatečně dimenzovány.

**známé fyzikální hodnoty suchého vzduchu:**

atmosférický tlak	101325	[Pa]
absolutní tlak před pouzdem snímače $p_1$	600000	[Pa]
absolutní tlak ve spalovací komoře $p_2$	101275	[Pa]

měrná plynová konstanta vzduchu	287	[J/kg·K]
termodynamická teplota	293	[K]
hustota při 20°C a 100kPa	1,188	[kg/m <sup>3</sup> ]
kritický poměr tlaků vzduchu	0,528	-
adiabatický exponent $\kappa$	1,4	

Plocha šesti otvorů, přes které protéká vzduch, je:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 6$$

$$S = \frac{\pi \cdot 0,004^2}{4} \cdot 6$$

$$\mathbf{S = 7,54 \cdot 10^{-5} [m^2]}$$

Hustota stlačeného vzduchu před snímačem:

$$\rho = \frac{p}{r \cdot T}$$

$$\rho = \frac{600000}{287 \cdot 293}$$

$$\mathbf{\rho = 7,135 [kg/m^3]}$$

Hmotnostní průtok jedním snímačem:

$$\dot{m} = S \cdot \rho \cdot w \cdot \mu$$

w: rychlost uvažujeme 300 m/s (z důvodu kritického poměru tlaků  $p_2 / p_1$ )

$\mu$ : součinitel kontrakce vyjadřuje zmenšení průtočného průřezu vlivem deformace proudnic

$$\dot{m} = 7,54 \cdot 10^{-5} \cdot 300 \cdot 7,135 \cdot 0,836$$

$$\mathbf{\dot{m} = 0,135 kg/s}$$

Přepočet množství vzduchu na atmosférický tlak ("tzv. přepočet na sání")

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho_{atm}}$$

$$V = \frac{0,135}{1,188}$$

$$V = 0,114 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pro chlazení čtyř snímačů pak potřebujeme:

$$V_{kotel} = 4 \cdot 0,114$$

$$V_{kotel} = 0,454 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 5.3 Volba stroje

Pro chlazení by z energetického hlediska bylo výhodné použít nízkotlaký stroj typu ventilátor. S ohledem na stávající uspořádání zařízení a omezenou možnost zásahu do stávajícího systému chlazení jednotlivých čidel jsem se rozhodl navrhnout dmychadlo. Při návrhu celkové výkonnosti počtu dmychadel vycházíme ze spotřeby čtyř bloků což představuje spotřebu z průměrného provozu počtu bloků na elektrárně. Vycházíme-li z průměrného počtu provozovaných bloků na EDĚ "dva", bude hospodárné použít celkem tři stroje. Dva stroje pokryjí 100% spotřeby vzduchu. Třetí stroj je 50% záloha celkové spotřeby, tedy automatický zások při poruše jednoho dmychadla. V souvislosti s průměrným provozováním dvou bloků na EDĚ je výhodné používat jedno dmychadlo, které pokryje spotřebu snímačů dvou kotlů. Návrhem výkonnosti jednoho dmychadla je tak zohledněna energetická efektivnost větších strojů, kdy klesá měrný efektivní příkon a provoz stroje je udržován v optimální oblasti charakteristiky.

V souvislosti s vypočteným hmotnostním tokem skrz jeden snímač byla stanovena optimální hranice přetlaku za dmychadlem 30 kPa. Snahou je vynakládat méně práce na stlačení vzduchu v dmychadle, protože i nízký přetlak bude dostatečný na chlazení snímače. Zajištění dostatečného hmotnostního průtoku při nižší hustotě vzduchu bude umožněno úpravou pouzdra snímače zvětšením průřezu jejich chladících otvorů.

Pro tlaky 20-90 kPa jsou nejvhodnější Rootsova dmychadla. Zde navržená dmychadla jsou od výrobce KAESER typ soustrojí FB 790 C, typ bloku OMEGA 64P

(<http://www.mse.cz>). Všechna soustrojí obsahují blok s třízubými rotory, nosný rám s tlumičem výtlaku a pryžovými patkami, tlumič sání s ukazatelem zanesení filtru, řemenový převod, pojišťovací ventil, zpětnou klapku, elektromotor s PTC senzory. Jedná se o Rootsovo dmychadlo s tzv. rotačními písty, viz obrázek č. 5-1



OBRÁZEK 5-1

Základní informace o dmychadle jsou v tabulce č. 5-1. Hodnota otáček stroje by byla 2640 ot/min, kdy je průtok 57,9 m<sup>3</sup>/min, což je 0,965 m<sup>3</sup>/s. Tento průtok bude dostatečný pro chlazení snímačů na dvou kotlích. Hranice tlaku vzduchu pro chlazení snímačů bude 30 kPa, při tomto tlaku je hustota vzduchu 1,5 kg/m<sup>3</sup>.

$\Delta p$ (kPa)	Model	OMEGA 64 P / DN 250							
	$n_k$ (ot/min)	1880	2110	2240	2350	2640	2950	3110	3300
30	$Q_1$ (m <sup>3</sup> /min)	39.60	45.20	48.30	50.90	57.90	65.30	69.20	73.70
	$\Delta t$ (°C)	28	28	28	27	27	27	27	27
	$P_k$ (kW)	25.6	29.1	31.2	32.9	37.6	42.9	45.7	49
	$P_{mot}$ (kW) (výkon motoru)	30	37	37	45	45	55	55	75
	Hlučnost bez krytu (dB)	87	89	90	90	92	93	93	94

TABULKA 5-1

Ekonomicky nejchopitelnějším provozováním by byla regulace množství změnou otáček motoru řízeným frekvenčním měničem. Uvedené dmychadlo by tak mohlo měnit plynule svou výkonnost od 39,6 do 73,7 m<sup>3</sup>/min. Společný výtlak dmychadel by byl osazen analogovým snímačem tlaku o potřebném tlakovém rozsahu. Výstup snímače 4 - 20 mA by postupoval do členu regulačního obvodu, kde žádanou hodnotou je



přetlak 30kPa. Rozdíl žádané a skutečné hodnoty představuje regulační odchylku. Výstupní signál z rozdílového členu po úpravě potřebným zesílením by byl žádanou hodnotou frekvenčního měniče. Po vyčerpání maximálního regulačního rozsahu otáček dmychadla by automaticky najelo další dmychadlo řízené rovněž frekvenčním měničem. Při poklesu množství odebíraného vzduchu z rozvodu a provozu dvou dmychadel by na hranici nízkých otáček systém odstavil předvolené dmychadlo. Regulace by se tak ustálila na nové hodnotě.

### **Optimalizace**

Pro nejehospodárnější provozování chlazení snímačů monitoringů plamene by bylo zjištění minimálního množství vzduchu. Byla by ověřena závislost mezi průtokem chladícího vzduchu a teplotou uvnitř pouzdra optického snímače. Měření by proběhlo za provozu kotle s tím, že místo optické vložky by byl vsunut do pouzdra odporový teploměr. Sledováním teploty a snižování množství vzduchu by se stanovila mez minimálního množství vzduchu, jenž by bylo potřebné k ochlazení snímače na maximální dovolenou teplotu stanovenou výrobcem. Výsledná fakta by byla zanesena do regulačního obvodu frekvenčních měničů, kde by se upravila žádaná hodnota přetlaku. Nižší otáčky pohonu představují menší odvedenou práci stroje. Celkově by se tak dosáhlo ještě nižších nákladů na odběr elektrické energie.

## **5.4 Výpočet chlazení a úprava pouzdra snímače**

Cílem výpočtů je stanovit přetlak vzduchu za dmychadly takový, který bude mít ještě dostatečně vysokou hustotu na to, aby hmotnostní tok (viz kapitola 5.2.) se současnou úpravou otvorů zůstal zachován. Maximální tlaková ztráta rozvodu bude 10%. Přetlak za dmychadlem bude 30kPa, přetlak před snímačem bude tedy 27kPa. Výpočet hustoty vzduchu před snímačem při stanovení přetlaku 27 kPa:

$$\rho = \frac{p}{r \cdot T}$$

$$\rho = \frac{101325 + 27000}{287 \cdot 293}$$

$$\rho = 1,526 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Podle zákona o zachování energie pro průtok beze ztrát:

$$i_0 + \frac{w_0^2}{2} = i_2 + \frac{w_2^2}{2}; \quad \text{pro } w_0 = 0; \quad \frac{w_2^2}{2} = i_0 - i_2$$

výtoková rychlost

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot (i_0 - i_2)}$$

Dosazením za

$$i_0 - i_2 = c_p \cdot (T_0 - T_2) = c_p T_0 \left[ 1 - \frac{T_2}{T_0} \right];$$

$$; \quad c_p = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot r; \quad = r \cdot T_0$$

dostaneme vztah pro vytékající rychlost

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]}$$

dosadíme hodnoty

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot \frac{1,4}{1,4 - 1} \cdot \frac{128325}{1,526} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{101275}{128325} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right]}$$

rychlost vzduchu vytékajícího z otvoru

$$w_2 = 196,205 \text{ m/s}$$

Výpočet celkové plochy otvorů v jednom snímači

$$\dot{m} = S \cdot \rho \cdot w \cdot \mu$$

$$S = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot w \cdot \mu}$$

$$S = \frac{0,135}{1,526 \cdot 196,205 \cdot 0,836}$$

plocha šesti otvorů  $S = 0,000539 \text{ m}^2$

výpočet průměru jedné díry

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$$

$$d = 0,01\text{ m} = 10\text{ mm}$$

Při dodržení navržených hodnot přetlaků za dmychadly bude nutná úprava průtočné části pouzdra snímače zvětšením šesti otvorů na průměr 10 mm.

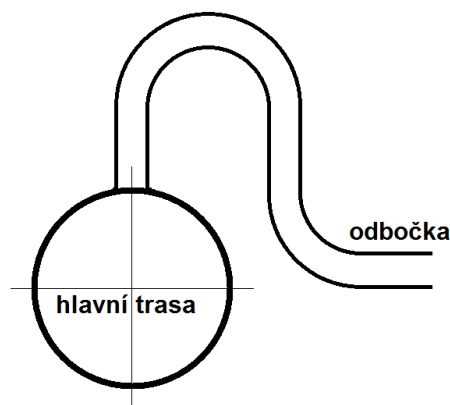
## 5.5 Návrh rozvodné sítě

Návrh nové sítě pro chlazení snímačů zajistí snížení nákladů na provozování monitoringu chlazení. Dosavadní systém chlazení vzduchem není hospodárný, protože nejdříve stlačujeme vzduch v CKS a následně tento vysoký přetlak redukuje, protože jej nevyužijeme. Značná část práce kompresoru tak přichází nazmar.

Uložení nového rozvodu je navrženo jako vnitřní rozvod přes celou budovu kotelný nad podlažím 25m. Vnitřním uložením je zabezpečena větší korozivzdornost a teplotní stálost. Rozvod zde nebude standartně veden jako okružní, ale povede se jen v přímém směru. Trasa tak může být vedena poměrně blízko kotlů a tím jsou zajištěny nižší náklady na realizaci. Rozvod bude tvořit jednu dlouhou větev s odbočkami ke každému kotli. Pro zajištění nejmenších tlakových ztrát v rozvodu, a tím k menšímu dimenzování potrubí, budou dmychadla umístěna uprostřed trasy.

Umístění dmychadel bude na podlaží 30,5m u zadní stěny budovy kotelný. Sání dmychadel bude zvenku, kde je průměrná teploty nižší než-li v budově kotelný. Kompresor dosahuje tím vyšší výkonnosti, čím chladnější vzduch nasává. Výtlaky za zpětnými klapkami dmychadel budou spojeny a potrubím svedeny ke stěně v blízkosti podlaží 25m, kde se trasa rozdělí na dvě identické části. Jedna část pokračuje směrem ke kotli č.: 1 a 2, druhá část pokračuje na druhou stranu ke kotli č.: 3 a 4.

Za dmychadly nebude navržen chladič stlačeného vzduchu. Jako chladič bude působit celá plocha potrubí rozvodu. Pořizovací náklady sběračů kondenzátu s automatickým vypouštěním jsou vysoké. Vzhledem k tomu, že mírná vlhkost vzduchu na pouzdro snímače nebude mít vliv, bude dostatečné pouze ruční vypouštění kondenzátu. Aby bylo možno odvést kondenzát, který se ze vzduchu vyloučí, je nutné dodržet doporučený spád 1 až 2 %. Každá z větví bude spádována k odlučovačům, jenž budou na konci těchto dvou tras. Odbočky k jednotlivým kotlům budou provedeny tzv. berlovitým vyhnutím, které zamezí vnikání kondenzátu do odboček. viz obrázek č. 5-2



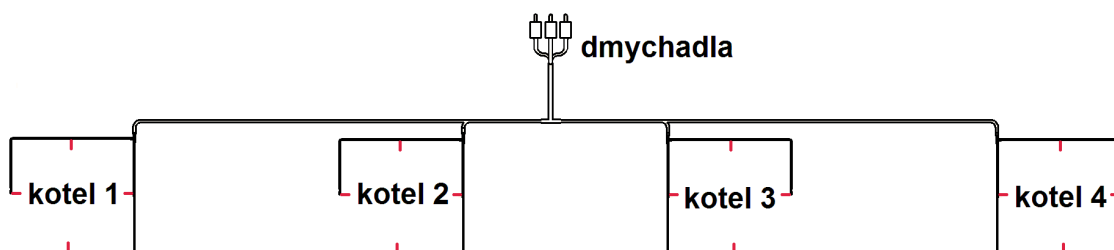
OBRÁZEK 5-2

Ke splnění podmínky dosažení snížení nákladů na elektrickou energii realizací nového rozvodu stačeného vzduchu je nutné zabezpečení zachování minimálních tlakových ztrát.

- snahou je návrh co nejkratšího potrubí
- kolena a oblouky s malým poloměrem kladou větší odpor a spotřebovávají tak energii
- průměr přívodního potrubí a jeho dimenzování v celé délce trasy
- vyhnout se přebytečným armaturám
- netěsnosti rozvodu zvyšují provozní náklady, omezit počet přírubových spojů
- udržování potřebného přetlaku vzduchu v rozvodu, zvýšení tlaku vyžaduje zvýšení příkonu dmychadla, vyšší tlak představuje vyšší ztráty
- vzdušník nebude třeba, nová trasa je dostatečně objemná

Upevnění nové trasy vzduchu bude provedeno na nádstavcích upevněných na stávajících dostatečně dimenzovaných konzolách, na kterých je upevněna trasa rozvodu zemního plynu. V místech kde konzole nejsou, bude upevněna konzole nová stejného typu. Kolem vlastního kotle bude potrubí upevněno na konzolách, které budou upevněny na stávajících konstrukcích pro běžné vybavení příslušenství kotle. Na stěnu kotle se nic neupevňuje, protože kotel je upevněn pod stropem kotelny a tepelně dilataje směrem dolů. Přívod vzduchu k vlastním snímačům spalování uchycených na membránové stěně kotle musí být proto přiveden pomocí dostatečně dimenzovaných hadic.

Výkres nízkotlakého rozvodu vzduchu podlaží 25m kotelny zahrnující všechny čtyři kotle včetně řezů a detailnější pohledů je v příloze. Měřítko výkresu je 1:150, řezy a detail jednoho kotle jsou pak v měřítku 1:50. Základní rozmístění trasy vzduchu vyjadřuje obrázek č. 5-3

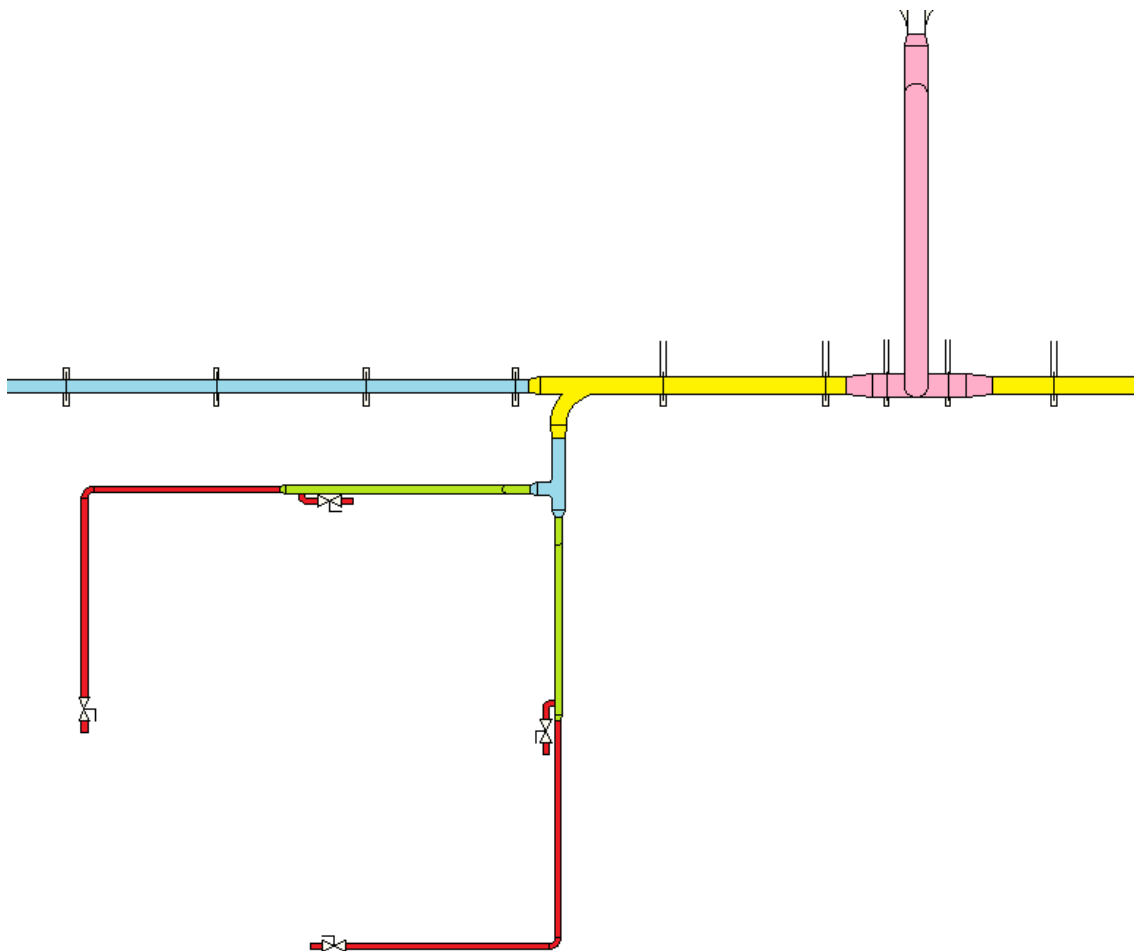


OBRÁZEK 5-3

### Výpočet a stanovení rozměrů rozváděcího potrubí

Potrubí pro rozvod stlačeného vzduchu tvoří největší položku v nákladech rozvodné sítě. Zpravidla se potrubní síť trochu předimenzují pro možnost dodatečného napojení dalších spotřebičů i odběratelů. Protože tento potrubní rozvod je navržen jen pro dané zařízení s předem danou spotřebou vzduchu, bude rozvod vypočten tzv. na míru. Aby tlakové ztráty nebyly velké, volí se rychlost vzduchu v potrubí zpravidla cca 8 m/s.

Rozvod vzduchu bude zahrnovat několik průměru potrubí z ohledem na postupné rozdělování trasy až k samotným snímačům. Postupně, jak se větve rozdělují k odbočkám, se bude průměr zmenšovat.



OBRÁZEK 5-4

**Postupně bude takto využito pět druhů průměrů potrubí viz obrázek č. 5-4**

1. Fialová: Největší průměr bude od výtlaku dmychadel po T kus, který rozdělí trasu na dvě stejné části. Jedna část pro kotle 1 a 2 a druhá část pro kotle 3 a 4.
2. Žlutá: Další použitý průměr bude začínat redukcí od zmíněného T kusu až po další T kus, který rozdělí již vzduch pro jednotlivé kotle.
3. Modrá: Přívod pro jednotlivé kotle bude ukončen dalším T kusem, který rozdělí trasu ke dvěma snímačům na zadní a levé straně kotle a dalším dvěma snímačům na přední a redukcemi.
4. Zelená: potrubí pro dva snímače.
5. Červená: potrubí pro jeden snímač.

Potřebné množství vzduchu přepočteného na atmosférický tlak pro čtyři kotle, viz kapitola 5.1:

$$V_{4 \text{ kotle}} = 1,817 \text{ m}^3/\text{s} = 109 \text{ m}^3/\text{min} = 6542 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Přepočet na skutečný přetlak za dmychadly a teplotu provedeme dle stavové rovnice:

$$p_{4kotle} = 101325 \text{ Pa}, p_s = 131325 \text{ Pa}, T_{4kotle} = 293,15 \text{ °K}, T_s = 293,15 \text{ °K}$$

$$\frac{p_s \cdot V_s}{T_s} = \frac{p_{4kotle} \cdot V_{4kotle}}{T_{4kotle}}$$

$$V_s = \frac{T_s \cdot p_{4kotle} \cdot V_{4kotle}}{T_{4kotle} \cdot p_s}$$

$$V_s = \frac{293,15 \cdot 101325 \cdot 1,817}{293,15 \cdot 131325}$$

Skutečný potřebný objemový průtok vzduchu za dmychadly bude maximálně:

$$V_s = 1,402 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 1, Výpočet vnitřního průměru potrubí za dmychadly

vypočteme ze vztahu:

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_s}{\pi \cdot w}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,402}{3,14 \cdot 8}}$$

$$d = 0,472 \text{ m}$$

Jmenovitý průměr zvolíme podle normy: ČSN EN ISO 6708 DN 500 svařovaným potrubím (500 mm je vnitřní průměr, síla stěny 8mm). Vnitřní průměr je tedy vyhovující.

## 2, Výpočet vnitřního průměru potrubí následující části

V následující části se průtok na dvě stejné poloviny, výpočet tedy bude:

$$V_s = \frac{1}{2} \cdot 1,402 = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

průměr vypočteme ze vztahu:

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_s}{\pi \cdot w}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,7}{3,14 \cdot 8}}$$

$$d = 0,334 \text{ m}$$

Jmenovitý průměr zvolíme podle normy: ČSN EN ISO 6708 DN 350 svařovaným potrubím (350 mm je vnitřní průměr, síla stěny 6mm). Vnitřní průměr je tedy vyhovující.

### 3, Výpočet vnitřního průměru potrubí další části

V následující části se průtok na dvě stejné poloviny, výpočet tedy bude:

$$V_s = \frac{1}{2} \cdot 0,7 = 0,35 \text{ m}^3/\text{s}$$

průměr vypočteme ze vztahu:

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_s}{\pi \cdot w}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,35}{3,14 \cdot 8}}$$

$$d = 0,236 \text{ m}$$

Jmenovitý průměr zvolíme podle normy: ČSN EN ISO 6708 DN 250 svařovaným potrubím (250 mm je vnitřní průměr, síla stěny 4,6mm). Vnitřní průměr je tedy vyhovující.

### 4, Výpočet vnitřního průměru potrubí další části

V následující části se průtok na dvě stejné poloviny, výpočet tedy bude:



$$V_s = \frac{1}{2} \cdot 0,35 = 0,175 \text{ m}^3/s$$

průměr vypočteme ze vztahu:

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_s}{\pi \cdot w}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,175}{3,14 \cdot 8}}$$

$$d = 0,166 \text{ m}$$

Jmenovitý průměr zvolíme podle normy: ČSN EN ISO 6708 DN 200 svařovaným potrubím (200 mm je vnitřní průměr, síla stěny 3,7mm). Vnitřní průměr je tedy vyhovující.

## 5, Výpočet vnitřního průměru potrubí další části

V následující části se průtok na dvě stejné poloviny, výpočet tedy bude:

$$V_s = \frac{1}{2} \cdot 0,175 = 0,088 \text{ m}^3/s$$

průměr vypočteme ze vztahu:

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_s}{\pi \cdot w}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,088}{3,14 \cdot 8}}$$

$$d = 0,118 \text{ m}$$

Jmenovitý průměr zvolíme podle normy: ČSN EN ISO 6708 DN 125 svařovaným potrubím (125 mm je vnitřní průměr, síla stěny 3mm). Vnitřní průměr je tedy vyhovující.

## Výpočet tlakových ztrát při proudění vzduchu jednotlivými úseky

Na trase k jednotlivým snímačům jsou využity vždy všechny prvky potrubí, a to všechny průměry potrubí, T kusy, kolena a redukce. Tlaková ztráta bude největší na nejdelší trase. Do výpočtu bude zahrnuto potrubí od dmyhadla až po snímač umístěný na pravé straně membránové stěny kotle č. 4.

### Výpočet Reynoldsova čísla

Kritické Reynoldsovo číslo pro kruhový průřez je 2320. Pod touto hranicí je proudění laminární, nad ní turbulentní. Ve skutečnosti je v rozmezí  $Re = 2320$  až asi  $Re = 10000$  proudění přechodné; plně turbulentní je až nad  $Re > 10000$ .

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$$

$w$  rychlost [m/s]

$d$  charakteristický rozměr (vztah mezi obvodem a průřezem)  $d = \frac{4 \cdot S}{\rho}$ , po úpravě vztahu platí, že u kruhového průřezu bude charakteristickým rozměrem vlastní průřez trubky

$\nu$  kinematická viskozita  $\nu = \frac{\eta}{\rho} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$

tabelovaná dynamická viskozita vzduchu 20°C  $\eta = 18,1 \cdot 10^{-6} [Pa \cdot s]$

hustota vzduchu za dmyhadly  $\rho = 1,526 [kg/m^3]$  (viz kapitola 5.2)

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = 1,186 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

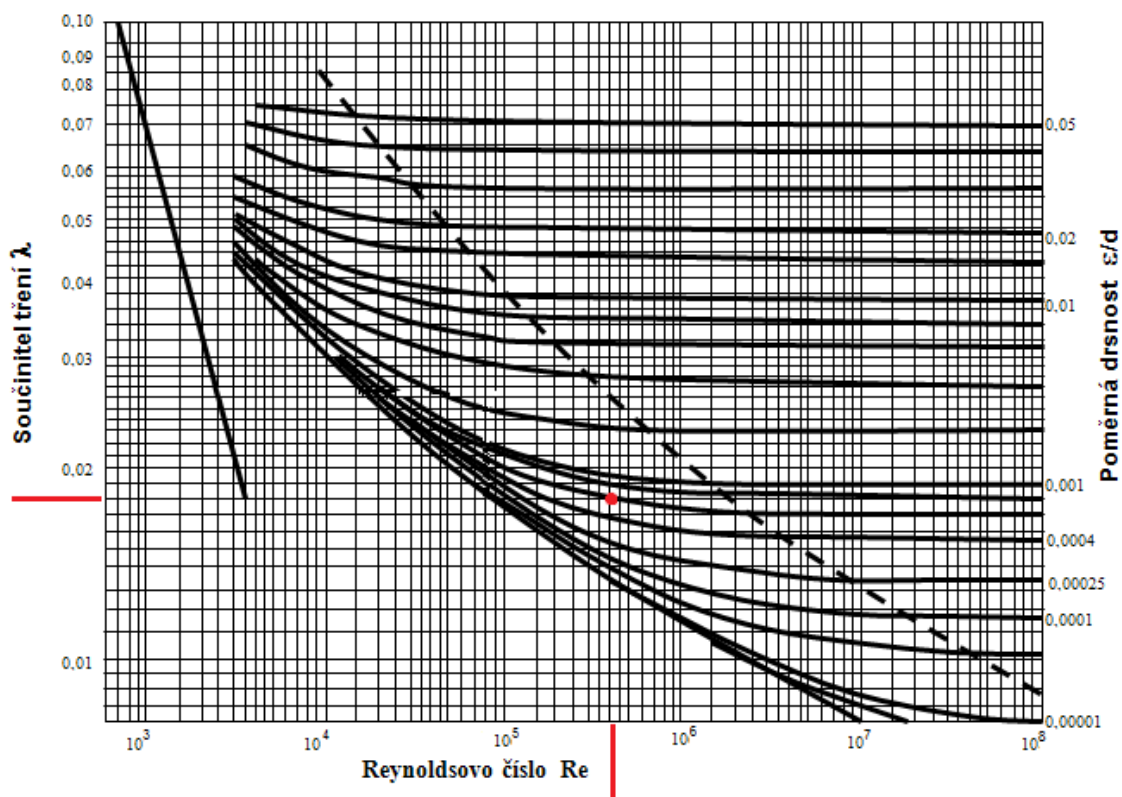
$$Re = \frac{8 \cdot 0,48}{1,186 \cdot 10^{-5}}$$

$$Re = 323777$$

$Re = 323777$  je plně rozvinuté turbulentní proudění

### Stanovení součinitele tření

Pokud zvolíme střední nerovnost vnitřního povrchu potrubí  $\varepsilon = 0,3$  pak poměrná drsnost bude  $\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0,3}{472} = 0,000635$  a součinitele tření odečteme z obrázku č. 5-5. Odečtená hodnota součinitele  $\lambda = 0,018$



OBRÁZEK 5-5

### Tlaková ztráta v místních odporech

Odpor všech prvků, armatur, kolen, redukcí, které představují tzv. vřazené odpory se vypočítá ze vztahu:

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \text{ [Pa]}$$

kde  $\xi$  je součinitel místního odporu určený pokusně. Směrné hodnoty součinitele místních odporů jsou uvedeny v tabulce č. Tabulka 5-2

Směrné hodnoty součinitele místních odporů	$\xi$
T kus při proudění přímo	0,6 až 1
T kus při proudění do odbočky	1,1 až 1,8
přechodový kus zmenšení průřezu	0,2 až 0,5
Hladké koleno $R=D$	1 až 2
kompenzátor U hladký	2

TABULKA 5-2

Ekvivalentní délka byla vypočtena porovnáním dvou vzorců s přihlédnutím na vnitřní průřez použitých potrubí:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \text{ [Pa]}$$

a

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \text{ [Pa]}$$

Vypočtené hodnoty ekvivalentních délek tlakových ztrát jednotlivých prvků jsou uvedeny v tabulce č. 5-3

Prvek	vnitřní průměr potrubí v metrech				
	0,50	0,35	0,25	0,2	0,125
T-kus při proudění přímo	27	19	14	10	7
T-kus při proudění do odbočky	48	34	26	17	12
přechodový kus zmenšení průřezu	13	10	7	5	4
Hladké koleno	53	38	29	19	14
kompensátor axiální			29		
Ventil					1,4

**TABULKA 5-3**

Rychlejší metodou se stanovuje délka potrubí, jenž nahrazuje místní odpory. Ze součtu těchto ekvivalentních hodnot se počítá tlaková ztráta nebo potřebný průměr.

Závislost tlakové ztráty na délce potrubí a ekvivalentních délkách:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l + \sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

kde :

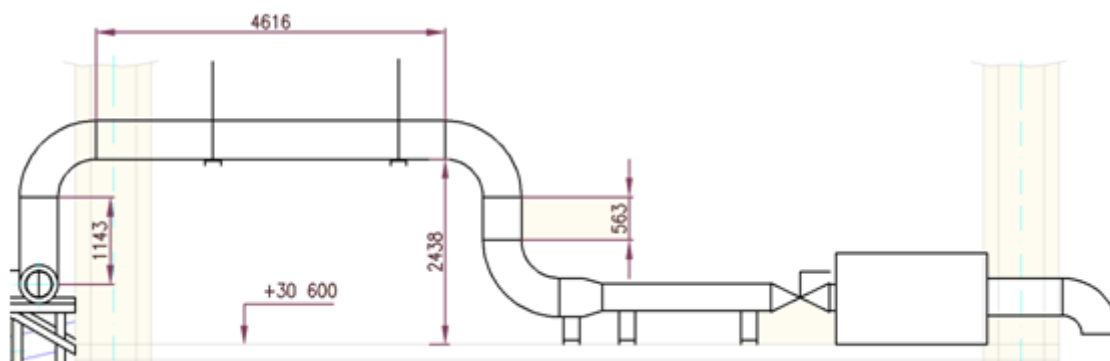
$\rho$	hustota vzduchu	[kg/m <sup>3</sup> ]
$w$	rychlost proudění	[m/s]
$\lambda$	součinitel tření	[.]
$L$	délka potrubí	[m]
$d$	vnitřní průměr	[m]
$\sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}$	suma ekvivalentních délek	[m]

**Výpočet tlakových ztrát od společného výtlaku dmychadel až po koncové ventily před snímači bude rozděleno na pět částí.**

Byly vybrány takové vždy nejdelší části a prvky, které mají větší tlakovou ztrátu.

## 1, výpočet tlakových ztrát části úseku potrubí $\phi = 0,48 \text{ m}$

použité prvky a délky potrubí viz obrázek č. 5-6



OBRÁZEK 5-6

prvky (ekvivalentní délky viz tabulka č.2Tabulka 5-2):

hladké koleno	3x	ekvivalentní délka	53m
T-kus při proudění do odbočky	1x	ekvivalentní délka	48m
přechodový kus zmenšení průřezu	1x	ekvivalentní délka	13m
potrubí 0,563 + 4,616 + 1,143		celkem	6,3m

$\rho$	hustota vzduchu	1,526 [kg/m <sup>3</sup> ]
$w$	rychlost proudění	8 [m/s]
$\lambda$	součinitel tření	0,018 [.]
$L$	délka potrubí	6,3 [m]
$d$	vnitřní průměr	0,5 [m]
$\sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}$	suma ekvivalentních délek	220 [m]

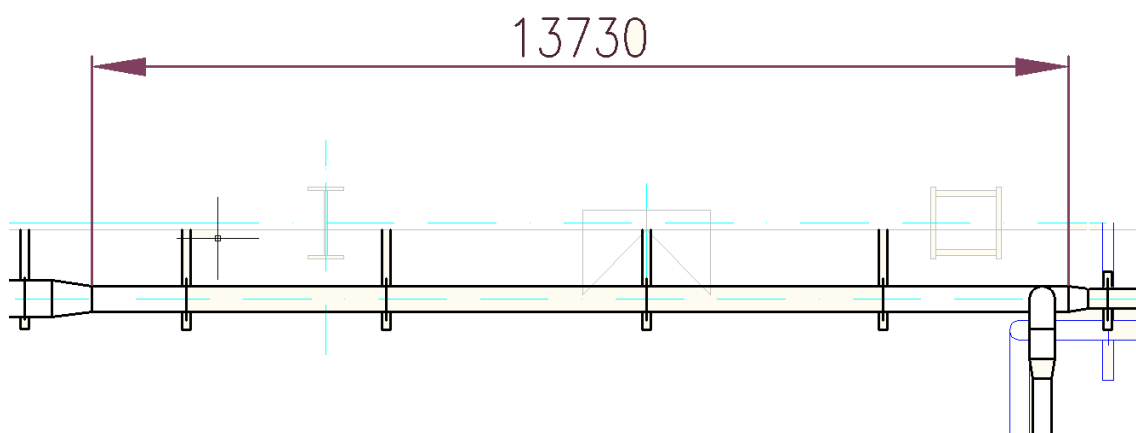
$$\Delta p_1 = \lambda \cdot \frac{l + \sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta p_1 = 0,018 \cdot \frac{6,3 + 220}{0,5} \cdot \frac{8^2}{2} \cdot 1,526$$

$$\Delta p_1 = 397,8 \text{ Pa}$$

## 2, výpočet tlakových ztrát části úseku potrubí $\phi = 0,342 \text{ m}$

použité prvky a délky potrubí viz obrázek č. 5-7



OBRÁZEK 5-7

prvky:

T-kus při proudění do odbočky	1x	ekvivalentní délka	34m
přechodový kus zmenšení průřezu	1x	ekvivalentní délka	10m
potrubí 13,73		celkem	13,73m

$\rho$	hustota vzduchu	1,526 [kg/m <sup>3</sup> ]
$w$	rychlost proudění	8 [m/s]
$\lambda$	součinitel tření	0,018 [.]
$L$	délka potrubí	13,73 [m]
$d$	vnitřní průměr	0,342 [m]
$\sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}$	suma ekvivalentních délek	44 [m]

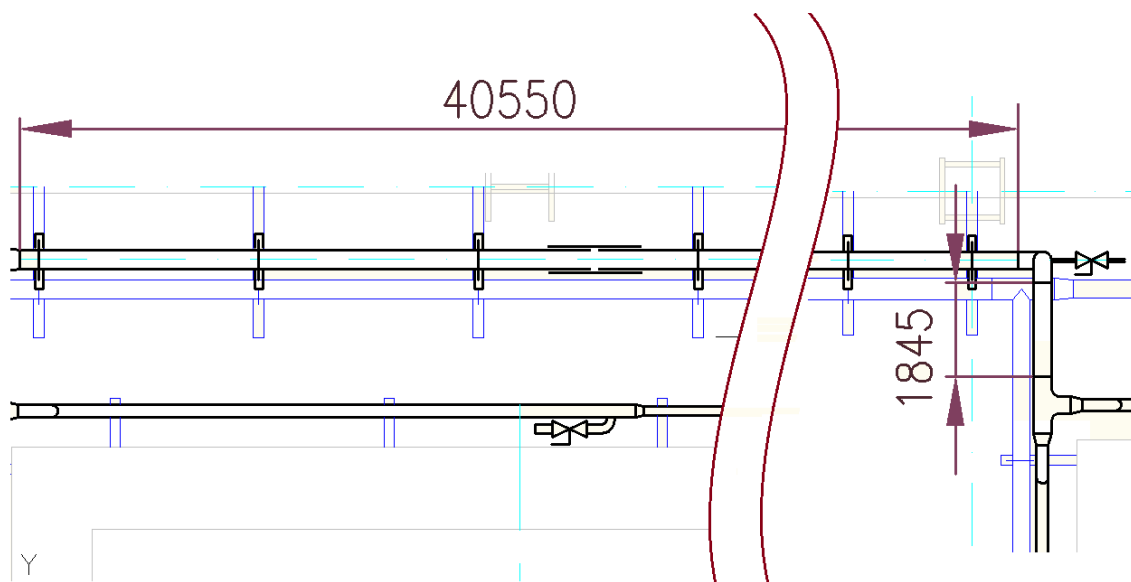
$$\Delta p_2 = \lambda \cdot \frac{l + \sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta p_2 = 0,018 \cdot \frac{13,73 + 44}{0,350} \cdot \frac{8^2}{2} \cdot 1,526$$

$$\Delta p_2 = 145 \text{ Pa}$$

### 3, výpočet tlakových ztrát části úseku potrubí $\phi = 0,259 \text{ m}$

použité prvky a délky potrubí viz obrázek č. 5-8



OBRÁZEK 5-8

prvky:

hladké koleno	2x	ekvivalentní délka	29m
T-kus při proudění do odbočky	1x	ekvivalentní délka	26m
přechodový kus zmenšení průřezu	1x	ekvivalentní délka	7m
kompenzátor axiální	1x	ekvivalentní délka	29m
potrubí 40,55 + 1,85		celkem	42,4m

$\rho$	hustota vzduchu	1,526 [kg/m <sup>3</sup> ]
$w$	rychlost proudění	8 [m/s]
$\lambda$	součinitel tření	0,018 [.]
$L$	délka potrubí	42,4 [m]
$d$	vnitřní průměr	0,25 [m]
$\sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}$	suma ekvivalentních délek	120 [m]

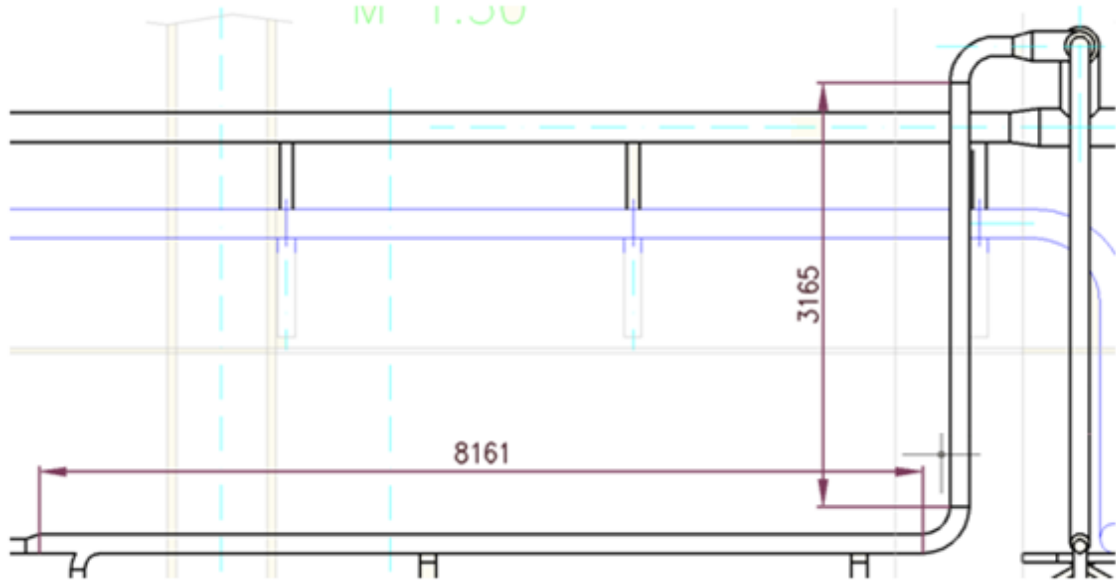
$$\Delta p_3 = \lambda \cdot \frac{l + \sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta p_3 = 0,018 \cdot \frac{42,4 + 120}{0,25} \cdot \frac{8^2}{2} \cdot 1,526$$

$$\Delta p_3 = 571 \text{ Pa}$$

#### 4, výpočet tlakových ztrát části úseku potrubí $\phi = 0,168 \text{ m}$

použité prvky a délky potrubí viz obrázek č. 5-9



OBRÁZEK 5-9

prvky:

hladké koleno	2x	ekvivalentní délka	19m
T-kus při proudění do odbočky	1x	ekvivalentní délka	17m
přechodový kus zmenšení průřezu	1x	ekvivalentní délka	5m
potrubí 3,165 + 8,161		celkem	11,3m

$\rho$	hustota vzduchu	1,526 [kg/m <sup>3</sup> ]
$w$	rychlost proudění	8 [m/s]
$\lambda$	součinitel tření	0,018 [.]
$L$	délka potrubí	11,3 [m]
$d$	vnitřní průměr	0,2 [m]
$\sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}$	suma ekvivalentních délek	60 [m]

$$\Delta p_4 = \lambda \cdot \frac{l + \sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

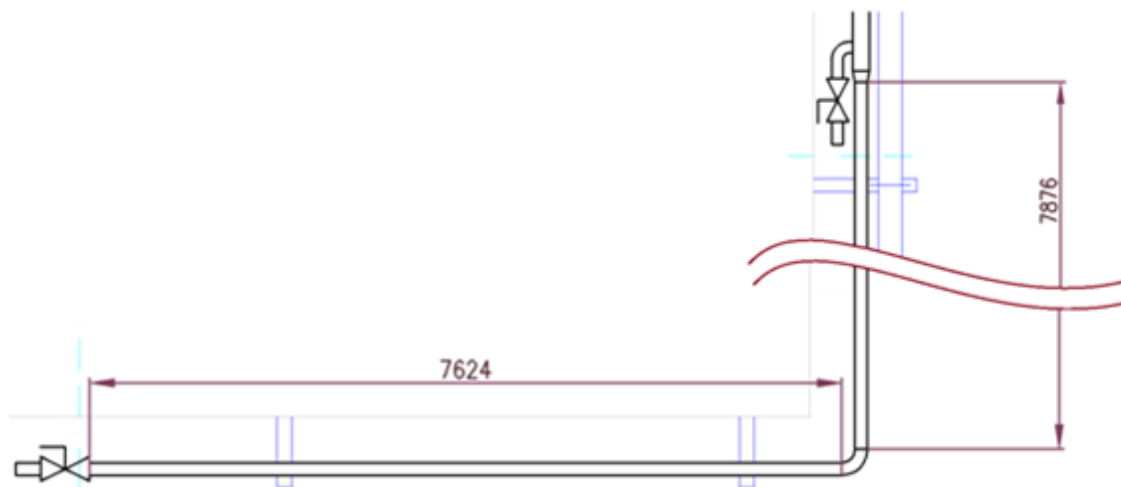
$$\Delta p_4 = 0,018 \cdot \frac{11,3 + 60}{0,2} \cdot \frac{8^2}{2} \cdot 1,526$$

$$\Delta p_4 = 313,3 \text{ Pa}$$



## 5, výpočet tlakových ztrát části úseku potrubí $\phi = 0,119 \text{ m}$

použité prvky a délky potrubí viz obrázek č. 5-10



OBRÁZEK 5-10

prvky:

přechodový kus zmenšení průřezu	1x	ekvivalentní délka	5m
ventil	1x	ekvivalentní délka	1,7m
koleno	1x	ekvivalentní délka	14m
potrubí 7,624 + 7,876		celkem	15,5m

$\rho$	hustota vzduchu	1,526 [kg/m <sup>3</sup> ]
$w$	rychlost proudění	8 [m/s]
$\lambda$	součinitel tření	0,018 [.]
$L$	délka potrubí	15,5 [m]
$d$	vnitřní průměr	0,125 [m]
$\sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}$	suma ekvivalentních délek	20,7 [m]

$$\Delta p_5 = \lambda \cdot \frac{l + \sum_{i=1}^{i=n} l_{ekv}}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

$$\Delta p_5 = 0,018 \cdot \frac{15,5 + 20,7}{0,125} \cdot \frac{8^2}{2} \cdot 1,526$$

$$\Delta p_5 = 254,5 \text{ Pa}$$

**Celková diference nejdelší části potrubí je součtem všech pěti částí.**

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4 + \Delta p_5$$

$$\Delta p = 397,8 + 145 + 571 + 313,3 + 254,5 = 1681,6 \text{ Pa}$$

$$\Delta p = 1681,6 \text{ Pa} = 1,681 \text{ kPa}$$

Z výsledku vyplývá, že výsledná tlaková ztráta 1,681 kPa je v předem určené toleranci, jenž měla být do 10% z 30kPa tedy maximálně 3kPa. Dá se říci, že zbývající tlaková rezerva bude dostatečná pro připojení snímačů plamene hadicí.

## 6 Technické a ekonomické zhodnocení navrhovaných úprav

### 6.1 Úprava automatického hlídání stability

Na technickou bezpečnost průmyslových zařízení se klade stále větší důraz. Provoz kotlů patří mezi vyhrazená tlaková zařízení a jeho provozování podléhá zvláštním předpisům. Hledisko bezpečnosti práce u těchto průmyslových zařízení velmi úzce souvisí s bezporuchovým provozem kotle a jeho příslušenstvím. Rozsáhlost a cena konstrukčních materiálů je vysoká, a proto se počítá vysokou trvanlivostí. Vysokou trvanlivost si provozovatel nezaručuje jen ochranami, které jsou nařízeny v normách pro tato vyhrazená zařízení, ale i vlastními ochrannými prvky. Mezi významný prvek patří i monitoring spalování, který tak zaručuje ochranu spalovací komory kotle proti výbuchu nahromaděných nespálených plynů v ohništi. Hrozí tak deformace popraskání membránové stěny spalovací komory i celého spalínového traktu. Monitoring spalování s jeho binárními a analogovými vstupy do řídicího systému tak zabezpečuje nenajetí plynových stabilizačních hořáků při nízké intenzitě plamene a naopak odstavení procesu spalování při pohasnutí plamene v kotli a nestabilním hoření.

Vzhledem k tomu, že operační systém TXP Siemens nabízí poměrně snadnou editaci algoritmů a logických vazeb, je tedy nasnadě provést potřebné úpravy pro automatické najetí plynových stabilizačních hořáků při nižší stabilitě hoření.

### 6.2 Úprava chlazení snímačů plamene

Vzhledem k tomu, že v literaturách zabývajících se rozvodem a využíváním tlakového vzduchu se zpravidla uvažuje o rozvodech vzduchu se jmenovitým tlakem 500 - 800 kPa, není možné čerpat ze zkušeností a návrhů autorů. Autoři doporučují tlakové ztráty, jenž mají být pouze o 50kPa menší na nejvzdálenějším místě. Rovněž doporučují maximální tlakovou ztrátu 10%. Z důvodu nejlepší hospodárnosti rozvodu

by měla být měrná tlaková ztráta na jednotce délky potrubí v celé síti stejná. Na tyto požadavky navazují návrhy dimenzování potrubí. Dostatečná velikost průměrů potrubí umožní splnění kritérií navrhovaných tlakových ztrát. Vždy nejdůležitějším faktorem při navrhování rozvodu jsou přesné hodnoty množství vzduchu jednotlivých odběrů. Jsou zde tabelované hodnoty ztrát tlaků při různých světlostech potrubí a změnách průtoků, avšak vždy se vztahují k tlakům řádově 500 - 800 kPa. Uváděny jsou rovněž nomogramy, dle kterých se dá rychle určit průměr potrubí z ohledem na délku potrubí, požadovanou tlakovou ztrátu a množství vzduchu.

Protože pro tak nízký tlak nově navrženého rozvodu vzduchu (30 kPa) neexistují nomogramy, dle kterých lze rychle určit vhodné průměry z ohledem na tlakové ztráty, byly průměry a tlakové ztráty počítány postupně. Jelikož nový rozvod vzduchu musí respektovat rozmístění stávající technologie, je na některých místech použito více kolen, jenž pak představují místní ztráty. Množství vzduchu, jenž prochází trasou se postupně rozděluje a světlost potrubí se zmenšuje. Při rozdělování a zúžení se opět projevují místní ztráty.

### **6.3 Výpočet měrné spotřeby v CKS**

Reprezentativním údajem při porovnáních efektivnosti provozování kompresorů je měrný příkon kompresorů. Tato hodnota prezentuje potřebný příkon na jeden vyrobený m<sup>3</sup> stlačeného vzduchu při daném kompresním poměru. Nejčastější kompresní poměr v provozovnách je 7 (poměr výstupního ku vstupnímu absolutní tlaku).

Dosavadním médiem pro chlazení snímačů plamene pro monitoring spalování byl vzduch z rozvodu vzduchu centrální kompresorové stanice CKS. Instalované kompresory jsou bezmazné, šroubové a dvoustupňové stroje se dvěma rotory s řídicím soukolím se šikmými zuby v těsně uzavřeném tělese.

Pro zjištění energetické náročnosti na vyrobený m<sup>3</sup> vzduchu o tlaku 600 kPa byly z řídicího systému odečteny výkony provozovaných kompresorů CKS. Pro vyšší objektivitu měření je výpočet proveden současně na třech kompresorech. Odečet byl proveden v době, kdy byl odběr vzduchu ustálen, kompresory nebyly odlehčeny a pracovaly na standardním výkonu. V provozu byly kompresory č. 2. + 3. + 5. Odečtení elektrických příkonů kompresorů [kW] i průtoku vzduchu [m<sup>3</sup>/h] bylo provedeno z vizualizace řídicího systému CKS. Objemový průtok vzduchu byl odečten z měření na společném výtlaku všech provozovaných kompresorů.

Odečtené hodnoty na výtlaku třech provozovaných kompresorů při průtoku vzduchu 14000 m<sup>3</sup>/h viz tabulka č. 6-1:

č kompresoru	Příkon [kW]	Proud
2.	556	58
3.	541	58
4.	525	56

TABULKA 6-1

Celkový příkon: 1622kW

měrný příkon:

$$P' = \frac{1622}{14000}$$

$$P' = 0,116 \text{ kWh}/m^3$$

Toto je však výsledná hodnota měrného příkonu při tlaku na výtlaku 600kPa. Protože je třeba porovnat měrné spotřeby stávajícího a nového zařízení při zcela rozdílných tlacích, je třeba měrný příkon přepočítat na hodnotu průtoku v sání za normálních podmínek.

Pomocí stavové rovnice přepočteme množství na výtlaku kompresorů na hodnotu v sání:

$$\frac{p_s \cdot V_s}{T_s} = \frac{p_{výtlak} \cdot V_{výtlak}}{T_{výtlak}}$$

$$V_s = \frac{T_s \cdot p_{výtlak} \cdot V_{výtlak}}{T_{výtlak} \cdot p_s}$$

$$V_s = \frac{293,15 \cdot 700000 \cdot 14000}{293,15 \cdot 101325}$$

$$V_s = 96718,5 \text{ m}^3/h$$

V sání kompresorů při elektrickém příkonu je 96718,5 m<sup>3</sup>/h.

pak měrný příkon přepočtený na objemové množství v sání:

$$P' = \frac{1622}{96718,5}$$

$$P' = 0,01677 \text{ kWh}/m^3$$

## 6.4 Výpočet měrné spotřeby dmychadel

Hodnoty navržených dmychadel výrobce KAESER/ FB 790 C/OMEGA (viz kapitola 5.3) mají tabulkové hodnoty udávané výrobcem:

Výkonnost	57,9	[m <sup>3</sup> /min]	tj. 3474[m <sup>3</sup> /hod]
tlak	30	[kPa]	
příkon	37,6	[kW]	

měrný příkon přepočtený na objemové množství v sání:

$$P' = \frac{37,6}{3474}$$

$$P' = 0,0108 \text{ kWh/m}^3$$

## 6.5 Celkové porovnání nákladů různého provozování

Potřebné množství vzduchu přepočteného na atmosférický tlak pro chlazení čtyř snímačů na jednom kotli (viz kapitola 5.2):

$$V_{kotel} = 4 \cdot 0,114 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{kotel} = 0,456 \text{ m}^3/\text{s} = 27,36 \text{ m}^3/\text{min} = 1641,6 \text{ m}^3/\text{hod}$$

### Náklady stávajícího způsobu chlazení:

Měrný příkon kompresorů v CKS (přepočtený na sání z kapitola 6.3)

$$P' = 0,01677 \text{ kWh/m}^3$$

Elektrický příkon potřebný na chlazení čtyř snímačů jednoho kotle pomocí vzduchu z CKS:

$$P'_{CKS} = 1641,6 \cdot 0,01677$$

$$P'_{CKS} = 27,529 \text{ kW/h}$$

**Elektrický příkon pro chlazení snímačů na jednom kotli stávajícím způsobem je tedy 27,529 kW/h.**

Při ceně 3 Kč/kWh jsou pak náklady 83 Kč.

(cena za 3 Kč/kWh je pouze reprezentativní)

## Náklady nového způsobu chlazení:

Měrný příkon navržených dmychadel

$$P'_{\text{DMYCH}} = 0,0108 \text{ kWh/m}^3$$

Roční elektrický příkon potřebný na chlazení dvou kotlů pomocí vzduchu z CKS:

$$P'_{\text{DMYCH}} = 1641,6 \cdot 0.0108$$

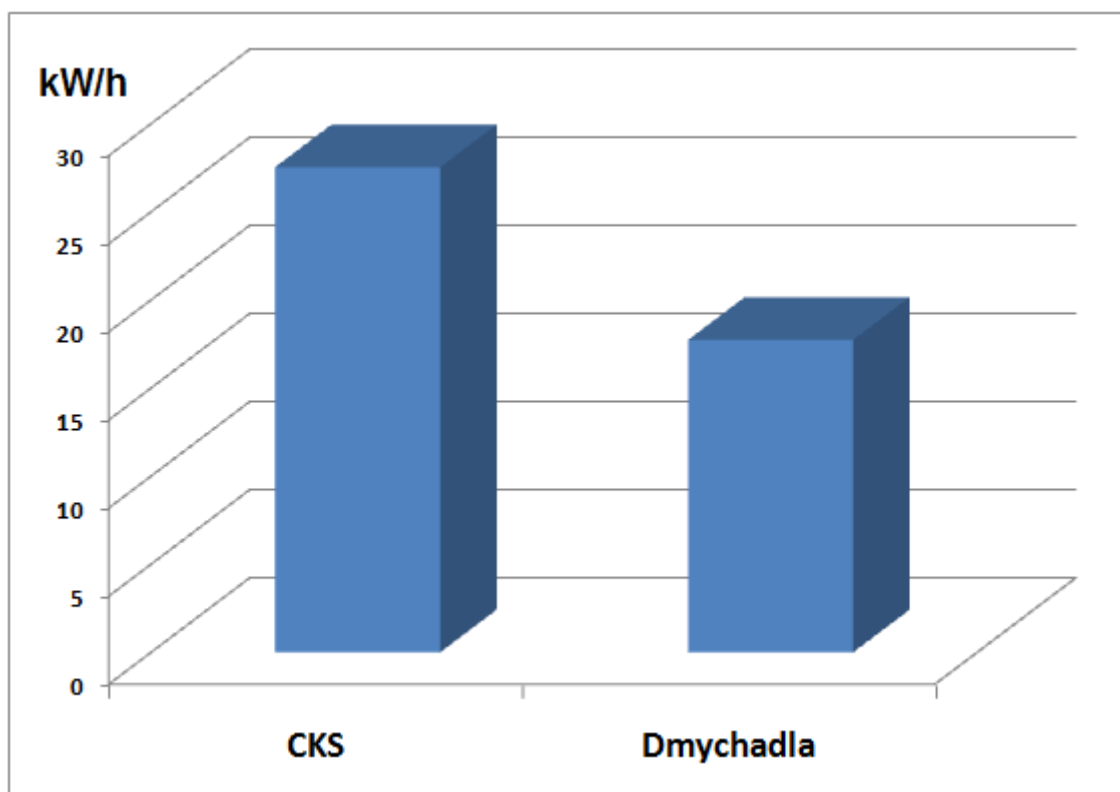
$$P'_{\text{DMYCH}} = 17,729 \text{ kW/h}$$

**Elektrický příkon pro chlazení snímačů na jednom kotli novým způsobem je tedy 17,729 kW/h.**

Při ceně 3 Kč/kWh pak náklady jsou 53 Kč.

(cena za 3 Kč/kWh je pouze reprezentativní)

Grafické znázornění elektrické spotřeby vyjadřuje obrázek č.1.



OBRÁZEK 6-1

## **7 Závěr**

### **7.1 Úprava zařízení automatického hlídání stability plamene.**

Při provozování kotlů a zejména při jejich odstavení, najíždění a výpadech paliva, tedy zásadních změnách provozních režimů, dochází k nestabilnímu spalování. Vzhledem k tomu, že Elektrárna Dětmorovice má velkou četnost najetí a odstavení výrobních bloků, je důvodné neustále zlepšovat technickou úroveň zabezpečení kotlů. Dlouhodobě používaný systém monitoringu hlídání stability se osvědčil a ve spolupráci z operačním systémem TXP bezporuchově plní svou funkci. Navržená úprava algoritmů (kdy při poklesu stability spalování automaticky najedou plynové stabilizační hořáky) ještě více přispěje k zajištění technické bezpečnosti velmi hodnotného zařízení i bezpečnosti osob a okolí. Protože úprava představuje pouze změny v software části a operační systém TXP má snadné editační možnosti algoritmů, budou náklady na změnu nízké. Nízké náklady na změnu a vysoká efektivita přínosu pro zařízení bude v tomto ohledu rozhodně přínosem.

### **7.2 Úprava chlazení snímačů monitoringu spalování**

Možnosti úspor v energetice jsou rozmanité a nejvíce se hledají na hlavním výrobním zařízení a změnách jeho účinnosti. Mezi významné úspory však patří i snižování vlastní spotřeby elektrické energie. Zapomíná se na to, že stlačování vzduchu je energeticky velmi nákladné. Při kompresní práci je odvedeno ve formě tepla zhruba 30% přivedené energie do okolí (při zohlednění zvýšení průceschopnosti vzduchu). Při hledání úspor však kotelní zařízením nemá úzkou spojitost s technologií kompresorové stanice a proto zde není zřejmá úspora vlastní spotřeby.

Z technického hlediska je nepříjemné stlačovat vzduch na 0,6 MPa a nechat jej volně vyexpandovat do spalovací komory kotle. Provedení pouzdra snímače je velmi úzké a je tedy zřejmé, že původní dodavatel systému monitoringu spalování počítal s využitím stávajícího rozvodu vysokotlakého vzduchu. Nezohlednil tak energetickou náročnost chlazení snímačů plamene. Další úspory lze najít ve zjištění minimálního množství vzduchu pro chlazení snímače, (měření pomocí teploměru v pouzdře). Rozvod nízkotlakého vzduchu se bude moci využít i na chlazení kamer sledujících hoření práškových hořáků. Návratnost investic nového systému rozvodu nízkotlakého vzduchu se bude odvíjet od počtu provozovaných kotlů.

## **8 Seznam použité literatury**

- [1] PTOSZEK MILAN: *Místní provozní předpis kotelná PG 650 t/h.*
- [2] SOBOTÍK RADIM: *Systém stability spalování kotle PG 650 t/h*
- [3] LIŠKA A.: *technika stlačeného vzduchu*

## **9 Seznam příloh**

Výkres: Rozvod vzduchu (formát AO)

Výkres: Tubus snímače (formát A3)

Výkres: Držák tubus snímače (formát A3)